

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN INGÉNIERIE
(CONCENTRATION GÉNIE INDUSTRIEL)

PAR
RICHARD FRÉCHETTE

CRÉATION D'UN OUTIL D'ÉVALUATION DES COÛTS DES INFRASTRUCTURES
MUNICIPALES SOUTERRAINES SELON DIFFÉRENTS FACTEURS
D'INFLUENCES.

NOVEMBRE 2018

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

Ce mémoire a été dirigé par :

Monsieur LUPIEN ST-PIERRE, directeur de recherche, ing., Ph.D. Université du Québec
à Trois-Rivières

Jury d'évaluation du mémoire :

Monsieur LUPIEN ST-PIERRE, David, ing., Ph.D., Université du Québec à Trois-Rivières

Monsieur ABDUL-NOUR, Georges, ing., Ph.D., Université du Québec à Trois-Rivières

Madame GASCON, Viviane, Ph.D., Université du Québec à Trois-Rivières

REMERCIEMENTS

Ce mémoire a été rendu possible grâce au financement MITACS et la participation de la Ville de Trois-Rivières.

Je souhaite remercier mon directeur de maîtrise, monsieur David Lupien St-Pierre, professeur titulaire au département de Génie industriel de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Il a su m'encourager et me guider dans mon projet ainsi que durant mes cours de deuxième cycle. J'ai apprécié son expérience et ses connaissances dans le domaine du génie et des systèmes informatiques. C'est d'ailleurs lui qui m'a convaincu de progresser jusqu'à la maîtrise pour améliorer mes capacités d'analyse.

De plus, je tiens à remercier le personnel de la ville de Trois-Rivières, qui m'a aidé dans la progression de cette recherche. Je remercie tout particulièrement l'équipe d'ingénierie ainsi que le département de géomatique, qui m'ont fourni les données nécessaires pour ce projet. Sans leur collaboration et leur suivi, il aurait été impossible de compléter ce projet.

Je veux aussi tout particulièrement remercier mon épouse pour m'avoir soutenu et conseillé dans mon projet. Elle a su m'aider à persévérer lorsque j'ai rencontré des difficultés et j'ai pu ainsi continuer à progresser dans mes études.

Finalement, je tiens à remercier chaque personne qui a contribué de près ou de loin à ce projet et sans qui cela n'aurait jamais été possible.

RÉSUMÉ

Dans les prochaines décennies, le renouvellement des installations sanitaires municipales nécessitera des investissements importants en fonds gouvernementaux. Devant ces énormes besoins et des fonds limités, la planification des projets à venir revêt une grande importance, de même que la précision des estimations financières qui sont réalisées. Ce document démontre la pertinence de mettre en place un outil d'aide à la décision automatisé pour la gestion des infrastructures sanitaires à la Ville de Trois-Rivières. Cet outil permettrait d'éviter des pertes de temps de gestion qui représentent jusqu'à 10% du temps total alloué à un projet. La standardisation du processus, combinée à l'utilisation de l'outil automatisé permettra de réaliser des estimations financières plus précises pour les projets à venir. L'outil d'évaluation des coûts proposé dans ce document est basé sur une équation linéaire ou logarithmique. Il permet d'augmenter significativement la précision des évaluations financières, qui passeraient d'un écart d'estimation moyen de 49,3% à 9,2%. En intégrant cet outil dans un processus de gestion standardisé, la Ville de Trois-Rivières pourrait améliorer ses estimations et diminuer son temps de gestion. Cet outil est basé sur les systèmes linéaires des services municipaux. Compte tenu de la nature de ces services, il est possible d'utiliser une équation pour évaluer la valeur des travaux à venir. Cette formule est validée par le test de Jackknife. Sur les 15 projets soumis, 13 seulement ont pu être utilisés car répondant à un certain standard de travaux. Sur ces 13, un seul a dû être exclu car il était trop petit pour être adéquatement comparé. L'outil finalement créé est fonctionnel, mais requiert d'être amélioré en intégrant chacun des futurs projets dans l'élaboration de la formule. Ainsi, il sera de plus en plus précis avec la croissance du nombre de projets.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	iv
RÉSUMÉ	v
TABLE DES TABLEAUX.....	viii
TABLE DES FIGURES	ix
LISTE DES ABRÉVIATIONS	x
MOTS-CLÉS:	x
INTRODUCTION	11
CHAPITRE 1. PROBLÉMATIQUE.....	13
CHAPITRE 2. REVUE DE LITTÉRATURE	16
2.1. Gestion des eaux	16
2.2. Gestion des réseaux d'infrastructures souterraines	17
2.3. Processus décisionnel et outils d'aide à la décision	19
2.4. Imputabilité des dépassements de coûts.....	22
2.5. Approches d'études utilisées pour la résolution du problème	23
2.6. Facteurs influençant les coûts des travaux d'aqueducs et d'égouts.....	28
CHAPITRE 3. ÉTAT DE LA SITUATION À LA VILLE DE TROIS-RIVIÈRES	32
3.1. Outil actuel d'évaluation financière des projets	32
3.2. Cartographie du processus de soumission actuel de la Ville de Trois-Rivières.....	34
3.3. Analyse du processus de soumission actuel.....	44
3.4. Résultat de l'objectif de simplification du processus d'estimation.....	47
3.5. Analyse du résultat de simplification du processus d'estimation	49
CHAPITRE 4. DÉVELOPPEMENT DE L'OUTIL D'ESTIMATION DES COÛTS	54
4.1. Collecte de données	55
4.2. Types de variables utilisées pour la régression	56
4.3. Facteurs sélectionnés pour l'analyse.....	60
4.4. Approche initiale	64
4.5. Problématique de l'approche initiale.....	65
4.6. Méthodologie de l'expérimentation	66
4.7. Facteurs retenus.....	67

4.8. Création de l'équation générale.....	71
4.9. Test du Jackknife sur 13 projets	77
4.10. Analyse sur 12 projets	78
CHAPITRE 5. DISCUSSION	85
CHAPITRE 6. CONCLUSION	88
LISTE DES RÉFÉRENCES	90
ANNEXE 1.....	97
ANNEXE II.....	99
ANNEXE III.....	101
ANNEXE IV	105
ANNEXE V	113
ANNEXE VI	115
ANNEXE VII	127

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Facteurs influençant les coûts	28
Tableau 3-1 : Soumission retenue vs estimation V3R	34
Tableau 3-2 : Classes d'estimations.....	36
Tableau 3-3 : Impacts des points décisionnels du processus actuel sur le temps total de réalisation d'un projet	47
Tableau 3-4 : Impacts des points décisionnels, nouveau processus	51
Tableau 4-1: Projet par type de coût.....	59
Tableau 4-2: Facteurs proposés et analysés.....	60
Tableau 4-3 : Analyse des facteurs	70
Tableau 4-4 : Coefficients et constantes des équations.....	73
Tableau 4-5: Résultats des P et R carrés.....	73
Tableau 4-6 : Comparaison des soumissions avec les résultats des régressions et du Jackknife sur 13 projets.....	77
Tableau 4-7 : Constantes et coefficients des équations (excluant le projet no12).....	79
Tableau 4-8: Résultats des P et R carrés avec 12 projets	80
Tableau 4-9 : Comparaison des résultats à 13 et 12 projets	83
Tableau 4-10: Comparaison des soumissions avec les résultats des régressions et du Jackknife excluant le 12è projets	84

TABLE DES FIGURES

Figure 3-1: Encadré #1.....	37
Figure 3-2: Encadré #2.....	38
Figure 3-3: Encadré #3.....	39
Figure 3-4: Encadré #4.....	40
Figure 3-5: Encadré #5.....	40
Figure 3-6: Encadré #6.....	41
Figure 3-7: Encadré #7.....	42
Figure 3-8: Encadré #8.....	42
Figure 3-9: Encadré #9.....	43
Figure 3-10: Encadré #10.....	43
Figure 3-11: Encadré #11.....	44
Figure 3-12 : Économies en coûts d'administration.....	52
Figure 4-1: Analyse de régression logarithmique.....	75
Figure 4-2: Analyse de régression linéaire	76
Figure 4-3 : Analyse de régression logarithmique à 12 projets.....	81
Figure 4-4 : Analyse de régression linéaire à 12 projets	82

LISTE DES ABRÉVIATIONS

CP — Chargé de projet

DE — Design Expérimental

KJ — Kawakita Jiro method

M — mètre

M2 — mètre carré

M3 — mètre cube

PTI — Plan triennal d'immobilisation

TM — Tonne métrique

TQM — Gazoduc Trans Québec & Maritimes Inc.

V3R — Ville de Trois-Rivières

MOTS-CLÉS:

Structure de coût, précision des estimations, Jackknife, régression linéaire, construction à coût linéaire, système d'aqueduc, système d'égout

Cost structure, precision of estimates, Jackknife, linear regression, linear cost structure, waste water, water supply system,

INTRODUCTION

Au cours du 20^e siècle, les pays du monde entier ont investi massivement dans leurs infrastructures souterraines afin d'assurer l'approvisionnement en eau potable ainsi qu'une élimination adéquate des eaux usées. Ces installations ont souvent été réalisées à grands frais, avec les méthodes en vigueur à l'époque de leur construction. La plupart sont désormais vieillissantes et des investissements majeurs sont requis afin de les conformer aux normes actuelles. De plus, l'importante croissance de la population qui a suivi la Deuxième Guerre mondiale ainsi que l'amélioration des règles d'hygiène ont rendu nécessaire la construction massive de nouvelles installations sanitaires. La croissance économique en vigueur à l'époque facilitait les investissements pour de telles installations.

Aujourd'hui, la situation économique des villes est très différente. Avec une population vieillissante et des fonds limités, les villes font face à des défis financiers importants. Aux États-Unis, certaines villes dont Détroit ont récemment déclaré faillite. Les investissements pour de grands projets d'infrastructures sont souvent tributaires de la vision politique des dirigeants. L'endettement des villes est de plus en plus difficile à justifier auprès de la population, surtout lorsqu'elle ne peut pas constater le résultat des investissements en infrastructures, comme avec les infrastructures sanitaires, qui ne sont pas visibles en surface.

Le manque cruel d'investissement dans les infrastructures souterraines a des répercussions directes sur la santé de la population. Par exemple, les problèmes de contamination au plomb dans la ville de Flint au Michigan résultent directement du manque d'investissement dans les systèmes d'aqueducs (Hanna-Attisha, LaChance et al. 2016). L'investissement nécessaire pour que ces infrastructures soient conformes aux normes de salubrité en vigueur pèsent lourdement sur les finances publiques de la ville. Dans le cas de Flint, les coûts médicaux et sociaux dépassent maintenant drastiquement les coûts de maintien ou de remplacement d'un système d'aqueducs.

Le Québec n'échappe pas à cette tendance, car plus de 200 municipalités y ont demandé des fonds au FEPTU (Fonds pour l'eau potable et le traitement des eaux usées) pour mettre à niveau leurs infrastructures (Gerbé 2016). Dans un contexte où les villes doivent investir des sommes importantes afin de maintenir leurs infrastructures à niveau, la précision des estimations de

coûts des travaux publics s'avère un enjeu majeur dont il est question dans ce mémoire. Le manque de données techniques précises et utilisables ainsi que le manque de constance dans la collecte de données compliquent la tâche d'évaluation. Ce manque de constance est également un sujet traité dans ce mémoire.

Afin de faciliter la lecture de cet ouvrage, voici un survol des sections qui le composent. D'abord, le chapitre 1 précise la problématique actuelle. Ensuite, le chapitre 2 présente une revue de littérature qui survole les principaux ouvrages reliés à la problématique énoncée. Cette recherche suggère la création d'un outil automatisé pour l'évaluation des coûts des projets d'infrastructures souterraines. Comme il a été identifié que la Ville de Trois-Rivières éprouve des difficultés à créer des évaluations financières fiables et précises pour ses projets d'infrastructures souterraines, la création d'un outil automatisé semble être une solution prometteuse. Le chapitre 3 fait donc état de la situation à la Ville de Trois-Rivières. Elle s'attarde à décrire les outils qui y sont utilisés ainsi que le processus d'évaluation des coûts des projets avant et après l'implantation de l'outil automatisé. Le chapitre 4 traite spécifiquement des étapes de développement de l'outil d'estimation automatisé. Il présente la méthodologie utilisée, les résultats, les problématiques rencontrées en cours de route ainsi que des moyens utilisés pour les résoudre. Le chapitre 5 discute des résultats ainsi que des limites de l'outil, pour terminer avec la conclusion dans le chapitre 6.

CHAPITRE 1. PROBLÉMATIQUE

Cette section fait un constat général de la situation des villes du Québec en ce qui a trait à la gestion de leurs infrastructures souterraines. Elle décrit les méthodes et logiciels utilisés ainsi que les processus qui entrent en jeu. Elle fait ressortir le besoin de nouveaux outils plus précis et adaptés afin de réaliser des estimations financières de qualité et ainsi diminuer les écarts de coûts des projets.

Actuellement, la Ville de Trois-Rivières utilise le système d'information géographique JMAP afin de suivre l'évolution de son réseau d'infrastructures souterraines. D'autres villes au Québec utilisent le même programme de géolocalisation. De tels systèmes d'informations géographiques permettent de cartographier les infrastructures municipales qui sont construites tant au niveau du sol qu'en sous-sol (Denègre and Salgé 2004). Ils fournissent également une grande quantité de données opérationnelles décrivant les infrastructures, tout en établissant des liens entre celles-ci. JMap ne contient aucune information financière telle que le coût de construction ou d'entretien des installations. À la ville de Trois-Rivières, l'utilisation d'autres logiciels comme Microsoft Excel est donc nécessaire pour la gestion et la présentation des données liées aux infrastructures. Cela fait en sorte que l'agrégation des données doit se faire sur une base manuelle, accroissant ainsi le risque d'erreurs. L'utilisation de plusieurs logiciels complique également le processus d'estimation, qui est déjà laborieux.

En effet, le processus d'estimation est long, mobilise de nombreuses ressources et n'est pas standardisé. Le manque de standardisation est en partie causé par le fait qu'il n'existe pas de bases de données ou de processus nationaux pour gérer les projets municipaux. Chaque municipalité ou gestionnaire gère donc ses projets à sa manière.

Par exemple, à la Ville de Trois-Rivières, les décideurs doivent se baser sur des estimations dont la précision recherchée est de plus ou moins 50 % (Tableau 3-1) par rapport aux soumissions des entrepreneurs. Cette marge d'erreur est beaucoup trop élevée pour permettre de prendre une décision éclairée. Les données des différents projets sont difficilement comparables, car elles ne sont pas uniformisées et révisées avant d'être saisies dans les bases de données municipales. Elles sont donc très difficiles à analyser et laissent beaucoup de place à l'interprétation. Un travail

manuel est donc obligatoire pour séparer chaque type de coûts, afin de pouvoir comparer divers projets. De plus, comme les projets de la Ville ne sont pas classés et répertoriés de façon adéquate, il est nécessaire de faire appel à la mémoire des ingénieurs ayant travaillé sur chacun des projets pour déterminer leur nature. Cette analyse repose donc en grande partie sur la mémoire collective des gestionnaires de projets, qui s'effritera à mesure qu'ils partiront de la Ville de Trois-Rivières.

L'objectif principal de ce mémoire est de développer un outil informatisé permettant de lier les données financières aux données opérationnelles d'un projet d'infrastructures municipales, facilitant ainsi l'évaluation des soumissions. Pour répondre aux besoins de la Ville de Trois-Rivières, le résultat fourni par l'outil d'estimation doit tendre vers le montant de la plus basse soumission reçue. Ce choix découle du fait que les municipalités octroient les contrats au plus bas soumissionnaire et que les budgets sont établis en fonction de ces soumissions.

L'amélioration de la précision des estimations du coût des projets facilitera la prise de décisions d'investissements. L'utilisation d'un outil de calcul permettra d'améliorer la précision des estimations du coût des investissements en infrastructures municipales et de réduire les délais administratifs liés à ces projets. Ce nouvel outil permettra de relier les données financières aux données opérationnelles des projets d'infrastructures municipales souterraines, facilitant ainsi l'estimation financière. Comme les municipalités disposent de liquidités limitées, la précision des calculs d'estimations devient un enjeu important pour éviter de devoir systématiquement retourner au processus d'approbation. Les délais administratifs ont un coût élevé pour les municipalités, car en plus des salaires impliqués, ils entraînent souvent des pénalités financières et parfois même la désuétude des installations. L'amélioration de la précision des évaluations financières, combinée à la simplification du processus d'évaluation permettra une meilleure attribution des ressources tout en évitant des délais inutiles.

Un autre objectif de ce mémoire est de démontrer l'impact de l'utilisation d'un outil d'aide à la décision semi-automatisé, comparativement au processus de décision actuellement utilisé par la Ville de Trois-Rivières. En d'autres termes, il permet d'évaluer l'impact d'une estimation automatique sur le processus de décision.

De plus, l'intégration d'un système de calcul automatique du coût des projets d'infrastructure simplifiera le processus d'évaluation établi à la Ville de Trois-Rivières. Le nouveau processus devra permettre une diminution significative du temps nécessaire ainsi que des coûts implicites aux estimations.

De ces objectifs découlent des questions qui servent à orienter la revue de littérature présentée dans la section suivante:

- Quelles seraient les économies potentielles de coûts et de temps générées par l'automatisation du processus d'estimation des coûts ?
- Quels sont les facteurs influençant le coût total des projets ?
- Quel niveau de précision est-il souhaitable d'obtenir lors du processus d'évaluation des projets ?
- Quelles sont les méthodes utilisées par les autres villes ? Ces villes utilisent-elles un modèle mathématique et informatique permettant d'évaluer avec plus de précision le coût des projets futurs.

CHAPITRE 2. REVUE DE LITTÉRATURE

La revue de littérature présentée ici démontre la pertinence de la création d'un outil automatisé d'évaluation des coûts des infrastructures souterraines. Les sujets abordés sont divisés en cinq sections distinctes. D'abord, la section 2.1 porte sur différents enjeux en matière de gestion des eaux. Elle situe le lecteur dans un contexte plus général, qui est ensuite orienté plus spécifiquement vers les enjeux de gestion des réseaux d'infrastructures souterraines dans la section 2.2. Cette section fait ressortir les besoins des villes en matière d'outils de gestion et justifie le travail présenté dans ce mémoire. La section 2.3 aborde ensuite vers les notions de processus décisionnels et d'outils d'aide à la décision. Ensuite, la section 2.4 traite brièvement de la question de l'imputabilité des dépassements de coûts qui surviennent lors de projets d'infrastructures. La section 2.5 présente quant à elle les principales études portant sur les estimations financières de projets d'infrastructures souterraines ainsi que les différentes approches utilisées. Finalement, la section 2.6 détaille les facteurs relevés durant la revue de littérature et qui exercent une influence sur le coût des projets d'infrastructures souterraines.

2.1. Gestion des eaux

La revue de littérature a permis de faire ressortir différents enjeux touchant la gestion de l'eau potable. Au Canada, la gestion de l'eau douce et des eaux usées comporte des défis importants. Le rejet des eaux usées dans les cours d'eau a une incidence directe sur la qualité de l'eau douce disponible à la consommation (2010). Dans les cinq dernières années, la côte ouest de l'Amérique du Nord a grandement souffert du manque d'eau douce. La situation est cependant différente dans les municipalités du Québec, compte tenu de l'accessibilité à d'importantes ressources en eau douce. Le Québec possède à lui seul 3 % de l'eau potable dans le monde et il est du devoir des citoyens de protéger cette ressource.

Dans un autre ordre d'idées, l'entretien d'un système de distribution d'eau potable est primordial. Aux États-Unis, il a été établi que 24 % des maladies reliées à la consommation d'eau proviennent d'une défaillance dans les systèmes d'aqueducs (Clark, Sivaganesan et al. 2002). En 1989, 243 cas de diarrhée, 32 hospitalisations et 4 morts ont été causés par un problème du système d'aqueduc de la ville de Cabool au Missouri. Un agent pathologique, la bactérie *Escherichia coli* 0157H7, en était responsable. L'analyse du système a démontré que l'usine de

traitement d'eau potable n'était pas responsable de la situation, qui était plutôt causée par des travaux de réfection impliquant le remplacement d'une conduite de 43 mètres. Ces travaux avaient alors permis à l'agent pathogène de s'infiltrer dans le réseau (Geldreich, Fox et al. 1992).

Selon l'étude réalisée par D. Abraham, les coûts de réfection des aqueducs et des égouts aux États-Unis étaient estimés à 390 millions de dollars en 2009 (Selvakumar, Clark et al. 2002, Abraham 2011).

2.2. Gestion des réseaux d'infrastructures souterraines

Au Québec, chaque municipalité est libre d'utiliser ses propres systèmes pour gérer ses infrastructures, tout en respectant les lignes directrices gouvernementales. Cependant, la grande disparité des systèmes de gestion des infrastructures municipales entraîne des problématiques importantes. Par exemple, le manque d'uniformité au niveau des systèmes et des pratiques permet aux villes de présenter leur plan d'aménagement du territoire comme elles l'entendent. Lors de l'attribution de subventions gouvernementales pour des projets d'infrastructures, une ville pourrait donc être favorisée au détriment d'une autre qui en aurait davantage besoin.

Le MAMROT 2013 a publié un document concernant l'élaboration d'un plan d'intervention pour le renouvellement des conduites d'eau potable, d'égouts et des chaussées. Ce guide a pour objectifs de mieux encadrer la gestion des réseaux, d'intégrer les chaussées et les égouts dans le système de gestion de l'eau potable et de préciser les mécanismes d'établissements des priorités de travaux.

L'étude « Development of standard geodatabase model and its applications for municipal water and sewer infrastructure » (Vemulapally 2010) présente différents modèles d'évaluation de la santé d'un système d'infrastructures souterraines. L'auteur y démontre l'importance de maintenir une bonne connaissance de l'état du système et des besoins à venir afin d'éviter des problèmes éventuels au niveau des infrastructures sanitaires. Il y suggère la création d'une cartographie du réseau à l'échelle nationale, ce qui permettrait d'uniformiser les bases de données des infrastructures municipales. Actuellement, toutes les villes ne maintiennent pas une image informatisée de leur système. La thèse de Vemulapally suggère une approche par

géolocalisation utilisant l'application Google Maps pour référencer la totalité du réseau et le rendre plus efficace.

L'étude « The need for National Data Standards for Condition Assessment » suggère également la création d'une base de données commune à l'ensemble des systèmes municipaux d'une nation (Whittle, Steiner et al. 2011). L'auteur propose la création d'un logiciel de gestion commun qui serait opérable simultanément par tous les intervenants. Une telle méthode standardiserait les rapports, les définitions, l'entreposage des données ainsi que les pratiques de gestion. Un système coordonné de la sorte permettrait de préciser les besoins des villes, d'avoir une vue d'ensemble des projets et de les réaliser par ordre de priorité. Ce système serait soutenable financièrement et permettrait de réaliser des économies sur le long terme. Ce système faciliterait également l'analyse en permettant de se baser sur des projets exécutés dans d'autres villes pour bâtir les estimations financières.

De plus, l'auteur suggère la mise en place à l'échelle nationale d'un système de maintenance préventive et réactive qui permettrait un meilleur contrôle grâce au partage d'information en temps réel. Un tel système aurait trois avantages principaux. D'abord, un programme national de soutien des services pourrait utiliser des publications, des pratiques et des programmes de certifications pour corroborer les besoins identifiés par les villes auprès de l'organisation centralisée. Ensuite, le regroupement des données en un seul système faciliterait leur utilisation pour des études éventuelles dans les milieux académiques et scientifiques. Finalement, un modèle de prévisions utilisant les bases de données regroupées permettrait de prendre les meilleures décisions d'investissements.

L'étude de Sekar rejoint l'idée de créer un système de gestion informatisé sous forme de bases de données (Sekar 2011). Selon lui, en plus de devoir fournir la bonne information au bon moment, une gestion informatisée efficace doit faciliter la visualisation du réseau ainsi que de son état de détérioration. L'auteur préconise donc des bases de données intégrant de façon visuelle la totalité du réseau et présentant l'état des infrastructures. Entre autres, le système fournirait de l'information sur l'âge des conduites d'aqueducs et d'égouts ainsi que sur les matériaux utilisés. Cela permettrait d'établir un plan d'entretien ou de renouvellement du réseau.

Aussi, le système proposé permet de calculer le risque stratégique du réseau. Bien que l'usure des matériaux soit connue, de nombreux autres facteurs peuvent accroître le rythme de détérioration du système. Une analyse des modes de défaillance et de leurs effets peut être réalisée pour déterminer avec précision les impacts financiers. Il est possible d'utiliser une équation pour mesurer le risque de bris ainsi que leurs conséquences potentielles. L'auteur classe les résultats obtenus en cinq catégories allant de 0 à 5, 5 étant le plus haut niveau de risque. Ces informations sont, par la suite, ajoutées à la base de données pour attribuer une cote de fiabilité au réseau et déterminer l'ordre de priorité des travaux de réfection. La détérioration du réseau peut ainsi être évaluée selon les modèles de durée de vie et du temps entre deux pannes. Des données statistiques pourraient y être intégrées pour déterminer le coût d'entretien, comparativement au coût d'une réparation complète à la suite d'un bris.

Le système proposé comporte cependant certaines limitations, comme un coût élevé de mise en place, ainsi que la subjectivité des informations. La subjectivité des informations est due à la formation et aux connaissances des utilisateurs. La variance des informations augmente en fonction du nombre d'utilisateurs impliqués dans le processus.

2.3. Processus décisionnel et outils d'aide à la décision

La création d'un outil d'évaluation du coût des projets d'infrastructures sous-entend une certaine compréhension du processus décisionnel et des outils d'aide à la décision. En effet, la production d'une évaluation financière entraîne nécessairement la prise de plusieurs décisions qui aboutiront à l'acceptation ou au refus de l'investissement. Dans le cadre de cette étude, il est également pertinent de se pencher sur le concept subjectif qu'est la valeur de l'information, afin de bien cibler les besoins des utilisateurs à qui l'outil d'évaluation des coûts est destiné. En effet, le nouvel outil d'aide à la décision se doit d'atteindre le but recherché par les utilisateurs, qu'il s'agisse d'améliorer la qualité du travail final ou de réaliser des économies de temps.

La valeur accordée à une information dépendra de la perception du décideur (Merkhofer 1977). Les processus décisionnels varient selon les individus, qui n'accordent pas nécessairement la même importance à une décision. En effet, le mode de prise de décision varie selon plusieurs facteurs (Hirshleifer and Riley 1992). Une personne tend à prendre des décisions en se basant

sur ses croyances et ses connaissances du moment. Ces décisions prises à un moment précis reflètent cet individu et non la totalité des connaissances dans le domaine disponible à ce moment.

De plus, la valeur d'une information est tributaire du processus décisionnel dans lequel elle est impliquée. À la suite de l'intégration d'un processus de décision, il est possible de déterminer l'amélioration de la situation par rapport à la situation précédente en comparant les résultats. Il faut donc déterminer les paramètres non maîtrisés ainsi que leurs impacts. Il est nécessaire d'acquérir de l'information porteuse de valeur pour réduire l'incertitude de la décision finale (Delecroix 2005).

La valeur de l'information dépend de plusieurs facteurs principaux tels que : l'incertitude des décideurs, les impacts de leurs décisions, le coût d'utilisation des informations nécessaires à la prise de décision et enfin, le coût du produit de substitution (Macauley 2005). Les deux derniers éléments sont particulièrement intéressants dans la situation présente. Le coût de substitution est le coût du processus actuel, comparativement au coût de l'information que l'on tente d'acquérir et d'utiliser dans un processus renouvelé. Cette différence de coût fera l'objet d'une étude dans ce document. L'approche est axée sur la différence de temps et de coûts entre les situations présentes et futures.

Pour déterminer le coût des informations recueillies, il faut d'abord déterminer le niveau de détail qui sera nécessaire et pertinent au processus décisionnel. Par exemple, la recherche d'une information particulière peut s'avérer peu rentable si elle n'est pas réutilisée par la suite. Il s'agit du principe d'économies d'échelle qui stipule que le coût de conception d'une unité est divisé par le nombre d'utilisations.

Dans un autre ordre d'idées, le stress subi par une personne peut influencer grandement son processus décisionnel. Dans le cas de la présente étude, l'obligation de créer une estimation précise en peu de temps engendre une pression qui peut avoir des répercussions négatives dans une organisation. Chaque individu peut réagir différemment selon la pression subie (Christensen-Szalanski 1978). En effet, les individus réagissent différemment selon la limite de temps qui leur

est imposée pour réaliser une tâche. Certains seront plus performants et d'autres le seront moins.

Dans une organisation, la présence d'un modèle de prise de décision ainsi que l'utilisation d'une base de données comme source d'information peuvent jouer un rôle très important dans le processus décisionnel (Rust and Huang 2014). La prise de décisions peut être facilitée par l'utilisation d'un modèle qui peut amener un défi face aux processus internes établis (Ranyard, Fildes et al. 2015). Il existe deux types de processus décisionnels : les décisions routinières et la résolution de problèmes. Les décisions routinières suivent une procédure établie pour arriver à une solution (March and Simon 1958). En général, les décisions routinières sont efficaces et nécessitent peu de temps et de ressources (Cyert and March 1963). Par contre, une décision routinière n'équivaut pas toujours à une décision simple. En effet, une routine peut être établie pour des problèmes très complexes. De nombreux problèmes qui, à une certaine époque, nécessitaient une analyse soutenue ont maintenant été simplifiés par des mécanismes décisionnels.

Toutefois, lorsqu'une situation non routinière se produit, il est impossible d'utiliser une routine et il devient alors nécessaire d'effectuer un processus d'analyse plus complexe. Ces situations sont souvent moins bien gérées par les équipes en place, à cause du manque de connaissances techniques du domaine et de barèmes établis.

Un processus décisionnel routinier présente quatre avantages principaux. Premièrement, se reposer sur un processus décisionnel établi requiert moins de temps et d'effort cognitif (Becker 2004). L'historique d'un processus décisionnel permet de créer et d'ajuster continuellement le modèle pour le rendre plus performant. Cela est particulièrement important lorsque l'utilisateur doit utiliser de nombreuses ressources impliquant le traitement d'un important volume de données (Rudolph and Repenning 2002).

Deuxièmement, un processus établi augmente le niveau de responsabilité que l'on peut déléguer. En suivant un processus à la lettre, un employé est certain de ne pas déroger de ses compétences ou des directives qui lui ont été données. Le risque d'erreur est donc minimisé. Troisièmement, suivre un processus permet de standardiser les attentes. Le rapprochement avec

le coût réel d'un projet est donc plus probable avec un tel processus. Finalement, un processus d'aide à la décision augmente la performance et réduit le temps nécessaire à la négociation avec les différentes parties prenantes.

Il y a cependant quelques désavantages à utiliser un modèle. Le prix en est sans doute l'élément principal (Ackoff 1977). L'estimation du coût des infrastructures nécessaires à ces analyses est élevée. Le second désavantage est qu'un modèle doit utiliser les informations disponibles intégralement, car il ignore les données qui ne sont pas paramétrées. La dernière raison est le manque de flexibilité des modèles, car ils ne sont pas conçus pour sortir des paramètres établis.

En général, l'utilisation d'un modèle de décision dans le processus organisationnel est bénéfique si les effets positifs sont supérieurs aux effets négatifs. Essentiellement, la question consiste à déterminer si le processus et son résultat sont plus efficaces, plus efficaces à long terme et plus adaptatifs que le processus sans ce modèle (Clark 2000).

Dans un domaine complexe comme celui des infrastructures, le développement d'une stratégie d'entretien efficace permet de mettre en place ou d'améliorer le processus d'aide à la décision (Chen, Henning et al. 2015). Selon cet article, il est possible d'optimiser un processus décisionnel pour le rendre plus efficace grâce à un modèle d'optimisation à objectifs multiples permettant d'obtenir des solutions avec une base de décision solide. L'application d'un tel modèle pourrait donc s'avérer grandement bénéfique dans une situation telle qu'à la Ville de Trois-Rivières.

2.4. Imputabilité des dépassements de coûts

Pour différents types de travaux, les villes doivent fréquemment faire affaire avec des firmes externes qui sont sélectionnées par un processus d'appel d'offres. Ces firmes doivent alors réaliser des soumissions qui comportent des estimations financières des projets. La recherche de littérature a démontré qu'au Canada et aux États-Unis, ces firmes ne sont pas responsables de l'exactitude des estimations qu'elles produisent et n'encourent généralement aucune conséquence lorsque des dépassements de coûts se produisent. Ce manque d'imputabilité des

firmes externes crée une certaine pression financière sur les municipalités, qui doivent absorber les coûts supplémentaires lorsqu'ils se produisent.

Certains pays comme l'Australie ont remédié à ce problème en rendant ces firmes imputables des dépassements de coûts (Australian Master Builder Association). La loi australienne permet en effet un recours si des erreurs ont été commises dans l'estimation des coûts d'un projet. Cela oblige les compagnies à produire de meilleures évaluations.

Différentes approches peuvent être utilisées pour mettre en évidence les dépassements de coûts. Les dépassements les plus courants se produisent lorsqu'il est nécessaire de refaire le travail qui a déjà été fait (Mendis, Hewage et al. 2013).

Les erreurs commises lors de l'estimation initiale entraînent également des dépassements importants. C'est pourquoi la responsabilité de la qualité ne devrait pas être transférée entièrement aux entrepreneurs, mais devrait également être imputée aux consultants externes, qui sont aussi responsables des dépassements de coûts. De plus, les critères d'acceptation ou de refus d'un ouvrage complété devraient être stipulés clairement pour réduire les risques de reconstruction.

2.5. Approches d'études utilisées pour la résolution du problème

L'analyse de la littérature a permis d'identifier différentes approches d'évaluation du coût des travaux d'infrastructures. Les facteurs influençant les coûts des travaux ont été déterminés à partir de questionnaires, de la technique de Delphi ou encore par une revue de littérature. Aucune étude ne semble mentionner une approche d'analyse de coûts plus directe, telle qu'un design expérimental. Une approche par design expérimental apparaît plus complexe, mais permettrait de calculer l'impact réel de chacun de facteurs de coûts de façon plus précise.

L'une des approches suggérées est de regrouper les actifs d'infrastructures afin de minimiser les coûts. Comme les coûts sont de plus en plus élevés pour maintenir un système adéquat, l'étude suggère de regrouper les besoins d'infrastructures pour réaliser des économies d'échelle (Rokstad and Ugarelli 2015). L'analyse des résultats obtenus démontre le bien-fondé de cette approche.

La thèse intitulée « Development of a true-cost concept for renewal of municipal underground pipeline systems » (Abraham 2011) propose une approche basée sur les coûts réels. Aux coûts de construction, l'auteur propose d'inclure les coûts du design, des opérations et de la maintenance ainsi que les coûts d'administration. Il y mentionne que la population valorise davantage les projets d'infrastructures qui sont visibles, comme les routes ou les bâtiments. Les villes ont donc plus de facilité à récolter des fonds pour des projets d'infrastructures impliquant des bâtiments plutôt que pour des aqueducs ou des égouts. Cependant, la majorité des infrastructures des municipalités sont souterraines et donc invisibles pour la population. L'auteur énonce donc une stratégie d'investissements dans la maintenance des infrastructures qui permettra de réaliser des économies sur le long terme. Son étude a pour but premier de sensibiliser le public sur les écarts de coûts entre une maintenance préventive et une maintenance corrective. Il y calcule la valeur actualisée des dépenses, ce qui permet de comparer en valeur d'aujourd'hui les coûts d'entretien par rapport aux coûts de construction futurs.

Dans son analyse, il procède principalement par une recherche de littérature et compare les facteurs de coûts influençant divers projets. Son analyse finale détermine que les coûts administratifs représentent 4,4 à 9,8 % des coûts d'un projet d'aqueduc ou d'égout. Pour une municipalité, ces coûts incluent principalement les salaires des employés qui sont affectés aux différents projets. Ces coûts ne sont que rarement comptabilisés à même les projets, car ils sont inclus dans les charges courantes de l'exercice financier annuel de la ville où ils sont réalisés. L'auteur met ainsi en évidence l'une des différences majeures entre un projet municipal et un projet de l'entreprise privée. En absolu, ces dépenses représentent des montants importants que les villes ne comptabilisent pas dans le coût des projets.

Dans la thèse intitulée « A framework for estimating the total cost of buried municipal infrastructure renewal projects A case study in Montreal » (Ormsby 2009), l'auteur utilise une approche innovante afin de déterminer le coût réel de travaux d'infrastructures. Il s'attarde principalement aux coûts sociaux entourant les rénovations d'infrastructures existantes. Il subdivise les coûts en trois catégories : les coûts directs, les coûts indirects et les coûts externes.

Les coûts directs sont les plus fréquents et incluent les coûts de constructions, le contrôle du trafic, les taxes, les assurances et les installations temporaires. Les coûts indirects constituent,

quant à eux, une conséquence des travaux réalisés. Par exemple, ils peuvent inclure la réduction de la durée de vie d'une route à la suite de travaux sous la chaussée, les dommages causés à une propriété, la perte en revenus de parcomètres et d'amendes ou encore la perte de revenus de taxes foncières. Les coûts externes sont la somme des coûts sociaux, environnementaux et économiques. Ils incluent des facteurs tels que les pertes de temps en déplacement des résidents, l'augmentation des coûts d'utilisation des véhicules, le nombre d'accidents, le coût des véhicules d'urgence, les baisses de profit des commerçants, les baisses de valeur immobilière, la pollution de l'air et les émissions de gaz à effet de serre, les contaminations de la nappe phréatique et la génération de poussière.

Tous ces facteurs apportent une nouvelle dimension à la vision des coûts de construction. Dans sa thèse, l'auteur discute des formules mathématiques qu'il a utilisées pour calculer le coût associé à chacun des facteurs mentionnés plus haut. Toutes les formules choisies sont spécifiques aux facteurs de coûts et ont été développées à partir des résultats de la recherche de littérature qui a été réalisée. Il y analyse les coûts d'un projet d'infrastructures municipales de la ville de Saint-Léonard, selon les méthodes conventionnelles ainsi qu'avec la méthode qu'il a développée. Le coût des travaux, échelonnés sur 44 jours, était de 540 000 \$ selon les méthodes conventionnelles de calcul. Selon la méthode développée par l'auteur, le coût final du projet serait plutôt de 671 299 \$, les coûts externes comptant pour 127 173 \$ de l'écart.

L'article « Comparative evaluation of building responses to an adjacent braced excavation » (Boone, Westland et al. 1999) comporte des similitudes avec l'étude d'Ormsby. Dans l'article, l'auteur analyse l'impact d'une excavation de 20 mètres de profondeur, dont les parois sont soutenues par des pieux. Il y estime les dommages causés à 46 structures avoisinantes. Il conclut que les dommages infligés aux structures à la suite d'une excavation s'avèrent faibles ou modérément importants.

Une autre étude (Tighe, Knight et al. 2002) tente de démontrer l'impact des installations de conduites sur l'état des conduites préexistantes. Cette étude montre une diminution de 30 % de la durée de vie de la chaussée lorsque des travaux d'excavation sont réalisés à proximité. Cette étude met aussi en lumière la diminution des coûts liés à l'utilisation de technologie sans excavation traditionnelle. Cette technique d'excavation sans tranchée est plus coûteuse que les

méthodes traditionnelles, mais elle permet de minimiser l'impact sur les infrastructures terrestres et souterraines existantes, évitant ainsi des coûts d'entretien plus élevés ou même l'exécution d'une réfection hâtive complète. Malheureusement, ce type d'excavation est rarement considéré lors du choix des méthodes employées pour réaliser les travaux, en raison de son coût élevé. Afin de prendre une décision éclairée, le calcul des coûts totaux des projets réalisés avec les méthodes d'excavations traditionnelles devrait inclure une dépréciation plus rapide ou un changement à la durée de vie des installations existantes.

Elhag, Boussabaine et al. (2005) utilisent un questionnaire pour déterminer l'importance de chaque facteur de coûts connu. Ils analysent 67 différents facteurs qui affectent les coûts de construction. Ces facteurs sont divisés en six catégories, soit : les caractéristiques clients, les consultants et paramètres, les qualifications de l'entrepreneur, les caractéristiques du projet, les procédures de contrats et les méthodes d'acquisitions, les facteurs extérieurs et conditions du marché. Le questionnaire permet d'évaluer la pertinence des facteurs et de les classer en ordre d'importance dans chaque catégorie. Les résultats statistiques du questionnaire ont démontré un large consensus concernant l'ordre d'importance des facteurs. Selon l'étude, l'absence d'altérations et de modifications tardives constitue le facteur de coûts le plus déterminant. Le deuxième facteur le plus important serait l'expérience et la performance de l'équipe de gestion du projet.

Dans la publication « Factors influencing construction time and cost overruns on high-rise projects in Indonesia » (Kaming, Olomolaiye et al. 1997), l'auteur démontre quelques facteurs influençant le temps et les coûts de construction. L'étude s'attarde principalement à la construction de bâtiments et mentionne dix facteurs de délais principaux et sept facteurs de dépassement de coûts. Les principaux facteurs analysés sont regroupés en six catégories: les conditions météorologiques, le coût des données, le manque de ressources, l'expérience des personnes impliquées dans le projet, les changements au design de base et la productivité des travailleurs. L'auteur intègre par la suite d'autres facteurs secondaires et détermine leur influence sur les coûts.

La méthodologie employée pour la recherche de facteurs est basée sur une revue de littérature. Par la suite, l'auteur a remis un questionnaire à 31 chargés de projets ayant plus de dix années

d'expérience. Chaque chargé de projet a ensuite classé les facteurs en ordre d'importance en leur attribuant une cote de 1 à 4. L'analyse des données ainsi récoltées montre que 55 % des chargés de projet (Ghoddousi, Eshtehardian et al. 2013) estiment que 90 % de leurs projets ont été réalisés dans les délais prescrits. 30 % des chargés de projet estiment que moins de 70 % de leurs projets ont été réalisés dans les délais prescrits. 15 % des CP estiment que 70 % à 90 % de leurs projets ont été réalisés dans les délais prescrits. C'est donc une majorité de projets qui respectent les échéanciers. Les questionnaires d'évaluation des coûts ont produit les résultats suivants : 52 % des CP estiment que 70 à 90 % de leurs projets ont respecté les budgets établis; 28 % disent que moins de 70 % des projets ont respecté les budgets établis; 20 % de CP disent que 90 % de leurs projets ont respecté les budgets établis.

L'auteur effectue cependant une mise en garde concernant l'exactitude des données obtenues à partir des questionnaires. Selon lui, un sondage réalisé auprès des clients montre que les CP semblent biaisés dans leurs évaluations des projets, ce qui amène un point de vue différent sur les dépassements de coûts et le non-respect des échéanciers des projets.

Différents auteurs (Kaming, Olomolaiye et al. 1997, Cheng 2014) ont utilisé des questionnaires et ils ont réalisé des entrevues avec différents ingénieurs de firmes externes pour collecter les facteurs influençant les coûts. Ils utilisent également la méthode de Delphi modifiée ainsi que la méthode Jackknife (Cheng 2014). Les personnes choisies pour faire ces deux tests respectaient les critères suivants : avoir une expérience dans le contrôle des coûts, avoir des connaissances dans le contrôle des coûts dans un projet de construction et s'impliquer actuellement dans le contrôle des coûts dans des compagnies de construction. La méthode de Delphi s'effectue avec deux groupes en deux rondes. Les deux groupes sont séparés physiquement pour éviter toute influence entre eux. En soumettant la première ronde de questions à chaque groupe, les auteurs ont pu affiner le choix des facteurs pour la seconde ronde. La seconde ronde s'est déroulée comme la première pour affiner davantage le choix des facteurs. Ensuite, la méthode de KJ sert à consolider les opinions des experts, à identifier les facteurs et à les ordonner selon leur importance. Les auteurs ont pu identifier 90 facteurs à la suite de leur analyse de la littérature. Avec les méthodes de Delphi et KJ, ils ont réduit ce nombre à 16. Parmi ceux-ci, les facteurs de température, la géologie et la topographie du terrain sont classés parmi les plus déterminants.

L'étude de Kaming, Olomolaiye et al. (1997) fait état des biais induits par l'utilisation des questionnaires, malgré la bonne volonté des personnes interrogées. C'est pourquoi il est difficile de déterminer les économies potentielles de temps et de coûts d'un projet à l'aide de questionnaires, même s'ils sont aussi objectifs que possible.

2.6. Facteurs influençant les coûts des travaux d'aqueducs et d'égouts

La création d'un outil d'estimation automatisé requiert de déterminer les facteurs qui ont une influence significative sur le coût des projets d'infrastructures souterraines comme les égouts et les aqueducs. La revue de littérature a permis d'identifier les facteurs les plus pertinents, qui sont résumés dans le tableau 2. Chacun de ces facteurs a un impact mineur ou majeur dans l'établissement des coûts d'un projet de construction ou de rénovation.

Aux études présentées précédemment, il est cependant pertinent d'ajouter la loi de Parkinson, qui amène une autre dimension aux facteurs influençant le coût des projets. Selon cette théorie, il existe un risque de déséconomies d'échelle dans toute organisation comptant plusieurs employés (Parkinson and Osborn 1957). Tout travail effectué au sein d'une administration tend donc à occuper entièrement tout le temps qui lui est accordé. Plus le temps prévu pour une tâche est important, et plus le temps final utilisé est long. Plus le nombre d'employés travaillant sur un même projet est important, plus le temps de travail s'en trouve allongé.

Tableau 2-1 : Facteurs influençant les coûts

Facteurs	Hypothèses	Références
Présence de routes	Il s'agit d'un coût direct qui dépend des coûts de construction et de déconstruction d'une route à l'emplacement du projet.	(Kim 2005) (Ormsby 2009) (Christian and Caldera 1988)

Tableau 2-1 : Facteurs influençant les coûts (suite)

Présence de lampadaires	Il s'agit d'un coût direct qui dépend de la présence de lampadaires à l'emplacement d'un projet.	s. o.
Présence de feux de circulation	Il s'agit d'un coût direct qui dépend de la présence d'une intersection à l'emplacement du projet.	(Kim 2005)
Type de conduites	Il s'agit d'un coût direct qui dépend de la grosseur de la conduite, ainsi que des matériaux utilisés.	(Kim 2005) (Kaming, Olomolaiye et al. 1997)
Réfection ou construction	Un nouveau projet impliquera des coûts du début à la fin. Cependant, lors de travaux de réfection, il est possible d'utiliser différents moyens de travail pour réduire les coûts. La référence citée illustre les différences entre les deux types de projets d'investissements.	(Kim 2005)
Économies ou déséconomies d'échelle	Il s'agit d'un concept d'économie. Plus l'envergure d'un projet est importante, moins les coûts fixes seront importants. L'inverse est aussi susceptible de se produire.	(Nguyen The 1993) (Parkinson and Osborn 1957) (Christian and Caldera 1988)
Température	Selon les références, la température et les conditions météorologiques affectent la rapidité et l'habileté de travail des employés. La pluie est citée comme l'un des éléments majeurs pouvant même mener jusqu'à l'annulation temporaire d'un projet. Le froid facilite cependant les travaux en abaissant le niveau de la nappe phréatique.	(Baloi and Price 2003) (Elhag, Boussabaine et al. 2005) (Kaming, Olomolaiye et al. 1997) (Kim 2005) (Christian and Caldera 1988)
Type de sol	Le type de sol et son niveau de compaction peuvent complexifier les opérations d'excavation ou de perçage. Ce facteur implique aussi la possibilité de remblayer les travaux à l'aide du sol excavé.	(Christian and Caldera 1988)
Zonage	Le zonage se définit en quatre catégories : agricole, industrielle, commerciale et résidentielle. Selon ces secteurs, les types de structures nécessaires peuvent différer.	(Ormsby 2009) (Elhag, Boussabaine et al. 2005)

Tableau 2-1 : Facteurs influençant les coûts (suite)

Densité de population du secteur	La densité de population du secteur influencera surtout les coûts « autres » du projet, tels que les pertes en revenus de taxes ou de parcmètres. De plus, la densité d'un secteur influence grandement la capacité d'absorption du sol. Les conduites doivent donc être conçues en conséquence.	(Ormsby 2009) (Kim 2005)
Hauteur de la nappe phréatique	La hauteur de la nappe phréatique a une influence sur la solidité du sol. Selon la hauteur, il peut être nécessaire de remblayer le sol ou d'y ajouter un drain. Lors de l'installation d'une conduite, il est nécessaire d'assécher le sol sur une épaisseur d'un mètre en dessous de la conduite installée.	(Kim 2005) (Ormsby 2009)
Topographie du sol	La topographie du sol influence l'écoulement d'un égout. Si l'écoulement est inefficace, des travaux supplémentaires seront nécessaires pour assurer le bon fonctionnement du réseau.	(Cheng 2014)
Distance du lieu d'excavation	La distance entre le lieu de travail et le lieu d'entreposage des matériaux utilisés par l'entrepreneur peut influencer le coût d'un projet.	(Christian and Caldera 1988)
Type d'excavation requis	Il existe de nombreuses façons d'excaver ou d'effectuer des travaux souterrains. L'excavation ouverte n'est plus la seule façon de procéder. Les références citées définissent plusieurs méthodes de remplacement d'un égout par des moyens moins économiques, mais plus pratiques.	(Gangavarapu 2004) (Tighe, Knight et al. 2002) (Christian and Caldera 1988)
Coût du pétrole	Le coût des travaux peut être influencé de façon directe par les cours du baril de pétrole.	(Baloi and Price 2003) (Ormsby 2009)
Présence de cours d'eau	La présence de cours d'eau sur les lieux d'un projet peut engendrer différents éléments supplémentaires comme la construction de tunnels ou encore des travaux d'étanchéité du réseau.	(Kim, An et al. 2004)

Tableau 2-1 : Facteurs influençant les coûts (suite)

Présence de services publics	La présence de pipeline de gaz naturel ou de pétrole ou encore de lignes à haute tension requiert la supervision des entreprises concernées et engendre des coûts supplémentaires dans un ouvrage.	(Kim 2005)
Taux horaire	Le taux horaire des travailleurs influence à la hausse les coûts de constructions.	(Cheng 2014) (Kaming, Olomolaiye et al. 1997) (Elhag, Boussabaine et al. 2005)

CHAPITRE 3. ÉTAT DE LA SITUATION À LA VILLE DE TROIS-RIVIÈRES

Ce projet de recherche, qui est de développer un outil informatisé d'estimation des coûts pour les projets d'infrastructures souterraines de la Ville de Trois-Rivières, nécessite une bonne compréhension des outils et méthodes de travail ainsi que des processus qui entrent en jeu. C'est pourquoi cette section fait état de la situation particulière de la Ville de Trois-Rivières, qui y est déclinée en cinq volets. La section 3.1 décrit l'outil présentement utilisé par les employés de la Ville afin de réaliser les estimations du coût des projets. La section 3.2 présente la cartographie du processus de soumissions actuel et la section 3.3 en fait l'analyse. La section 3.4 présente ce que serait la cartographie du nouveau processus, suite à l'implantation d'un outil d'estimation automatisé. Finalement, la section 3.5 compare la situation actuelle avec la situation après l'implantation et discute des améliorations qui s'en dégageraient. Cette portion du rapport démontre donc l'impact d'une estimation automatique sur le processus, ainsi que les économies en temps et en coûts qui pourraient être réalisées.

3.1. Outil actuel d'évaluation financière des projets

Les estimations de coûts des projets d'infrastructures municipales de la Ville de Trois-Rivières sont majoritairement effectuées à l'aide d'un chiffrier de calcul conçu sur Microsoft Excel. Créé par l'un des ingénieurs de la Ville, ce calculateur est utilisé sur une base volontaire pour réaliser les estimations. Il permet d'entrer manuellement les données d'un projet pour déterminer les coûts qui y sont reliés.

Cet outil comporte cependant plusieurs lacunes importantes. D'abord, il est difficile de le mettre à jour, car chacune des données requiert une entrée manuelle. Il est également difficile d'en comprendre le fonctionnement en raison du grand nombre de formules intégrées dans le chiffrier. Ces formules contiennent plusieurs incréments permettant d'ajuster les coûts afin d'obtenir un calcul plus précis. Ces incréments sont en fait des constantes arbitraires définies par les créateurs de l'outil et sont donc difficiles à tenir à jour. Cependant, aucune explication n'est fournie concernant la provenance de ces incréments ou encore leur contribution aux calculs finaux. En addition, l'utilisation de ce tableur Excel ne fait pas partie de la procédure officielle de

soumission de la Ville de Trois-Rivières. Il en résulte que le processus laisse beaucoup de liberté aux utilisateurs, ce qui entraîne des écarts d'estimation significatifs allant jusqu'à 90.2% d'écart.

L'outil actuel, qui est présenté à l'Annexe I, est très complexe et peu flexible. Le coût total y est déterminé en effectuant la somme des coûts unitaires de chacun des constituants entrant dans le cadre d'un projet. Ces coûts unitaires incluent le coût des matériaux ainsi que de la main-d'œuvre nécessaire à leur installation. Son utilisation n'est donc possible que lorsque les matériaux nécessaires aux travaux sont connus, ainsi que leur prix. Une telle approche devrait en principe aboutir à des estimés précis, mais ce n'est pas le cas. Les estimations obtenues sont très peu rigoureuses.

Cela est dû en partie au fait que la Ville de Trois-Rivières ne réalise pas d'évaluations du coût des projets post-réalisation. En effet, la Ville collecte de nombreuses données financières sur les coûts de projets antérieurs, mais elle ne fait pas le rapprochement entre ces données et les estimations de coûts des projets en cours. Dans le processus actuel, une fois l'estimation des coûts réalisée, celle-ci ne sera plus ajustée ni utilisée une fois le projet commencé.

Au cours de la présente étude, plus d'une cinquantaine de projets étaient disponibles, mais seulement treize ont été considérés dans l'analyse. Plusieurs comportaient des données trop incomplètes pour être utilisables ou encore la nature des travaux réalisés différait au point de rendre les projets incomparables. De plus, dans un but de comparabilité, il était impossible de collecter des projets dans une autre municipalité, car il aurait été nécessaire d'ajouter de nombreux facteurs à l'analyse.

L'analyse préliminaire des données financières, présentée dans le Tableau 3.1, révèle un écart d'estimation moyen de l'ordre de 49,3 % par rapport à la soumission qui a été retenue. La V3R a tendance à surestimer les coûts de construction. Cet écart est difficile à expliquer, car le nombre de facteurs influençant le coût final d'un projet est très élevé. De tels écarts démontrent clairement le besoin d'un outil d'estimation des coûts plus précis. Il est à noter que cette étude ne tente pas de déterminer la valeur finale d'un projet, mais bien celle de la soumission la moins élevée. En effet, comme les travaux municipaux sont subventionnés, la soumission la plus basse sert à déterminer la valeur de la subvention qui sera versée. De plus, la plus basse soumission

doit normalement refléter le coût total d'un projet. Finalement, le coût total peut différer en raison des changements survenus en cours de route. En utilisant la plus basse soumission, cela permet d'éviter d'avoir à évaluer le coût des changements réalisés tout au long du projet dans l'outil d'estimation.

Tableau 3-1 : Soumission retenue vs estimation V3R

No de projet	Soumission retenue	Estimation V3R	
		Coût	Écart absolu en %
1	1 634 552 \$	1 964 730 \$	20,2 %
2	1 207 300 \$	1 793 082 \$	48,5 %
3	2 602 580 \$	4 123 679 \$	58,4 %
4	886 855 \$	1 324 625 \$	49,4 %
5	445 809 \$	511 525 \$	14,7 %
6	1 936 804 \$	3 349 272 \$	72,9 %
7	994 762 \$	1 892 175 \$	90,2 %
8	203 943 \$	344 175 \$	68,8 %
9	395 863 \$	583 478 \$	47,4 %
10	1 909 569 \$	2 626 700 \$	37,6 %
11	748 813 \$	868 180 \$	15,9 %
12	178 423 \$	337 850 \$	89,4 %
13	413 987 \$	529 495 \$	27,9 %
Moyenne			49,3 %

3.2. Cartographie du processus de soumission actuel de la Ville de Trois-Rivières

La création d'un outil d'estimation automatisé nécessite au préalable une certaine compréhension du processus de soumission de la Ville de Trois-Rivières. La démarche utilisée pour définir le processus est basée sur de nombreuses rencontres avec les principaux intervenants de la section des infrastructures de la Ville de Trois-Rivières. Ces interventions ont permis de mettre en commun les expériences de chacun et d'en déduire le processus général. Le processus actuel n'étant pas officiellement cartographié, les ingénieurs interrogés divergeaient sur le parcours réel d'une estimation de projet. La complexité du processus implique

de nombreuses erreurs et provoque de nombreux retours en arrière. Chaque retour en arrière provoque inévitablement une perte de temps. Cette perte de temps a été évaluée empiriquement et peut varier selon le type de projet. Il est important de mentionner que le roulement de personnel joue un rôle important dans le processus. Les pertes de temps calculées dans cette analyse sont beaucoup plus importantes si le processus d'estimation est réalisé par du personnel non expérimenté.

Pour faciliter la compréhension du processus de soumission de la Ville de Trois-Rivières, la procédure a été divisée en cinq étapes, qui sont nommées « classes P, D, C, B et A ». Ces classes représentent les niveaux d'avancement de l'élaboration d'un projet. Un projet ne peut être concrétisé que lorsque la classe A est atteinte. Chacune de ces étapes possède un certain niveau de précision. Par exemple, la classe P a pour cible que l'estimation des coûts soit précise à + 50 % ou - 30 %. Toutes les décisions et les actions menées lors du processus d'estimation réalisée avec cette précision sont catégorisées en classe P. D'autres suites d'actions et de décisions mèneront à différentes classes d'estimation pour éventuellement en arriver à l'estimation de classe A. Le Tableau 3-2 apporte des précisions sur ces différents niveaux. Il présente chaque type d'évaluation, la définition du projet, l'objectif de l'estimation, le niveau de précision recherché ainsi que les efforts qui y sont dédiés. Le niveau de détails, de précision et l'effort augmentent selon la progression du projet dans le processus d'approbation. Cela a pour but d'éviter d'investir trop de temps dans un projet qui ne rencontre pas les objectifs de départ. De plus, les niveaux de précision recherchés sont des valeurs cible par rapport au coût final d'un projet. Un écart supérieur est d'ailleurs plus acceptable qu'un écart inférieur.

Tableau 3-2 : Classes d'estimations

Bureau de projet : Conception générique et évaluation des coûts					
Classification des évaluations	Caractéristiques principales	Caractéristiques secondaires			
Exclus les contingences et les imprévus	Définition de projet	Objectif	Méthodologie	Niveau de précision	Effort de préparation % des coûts du projet
Classe P	Besoins primaires	Énumération des besoins et/ou des problématiques, et/ou des solutions	Divers (méthodes empiriques)	-30 % à + 50 %	0,5 %
Classe D	Le plan de conception	Présélection de diverses solutions alternatives	Divers (méthodes empiriques ou expériences)	-20 % à + 30 %	de 1 % à 5 %
Classe C	Conception architecturale (33 % conception)	Obtenir l'approbation préliminaire du projet	Mesurer, tarifier, paramétrer des quantités	-15 % à + 20 %	de 1,5 % à 5 %
Classe B	Développement de la conception (66 % conception)	Obtenir l'approbation finale du projet	Mesurer, tarifier et détailler en termes de quantité	-10 % à + 15 %	de 2,5 % à 10 %
Classe A	Document de conception (100 % conception), appel d'offres, marché	Conformité reliée à l'approbation finale du projet (budget, marché)	Mesure, prix de détail complets et quantités	-5 % à + 10 % (Prix soumis)	de 5 % à 50 %

Le processus d'estimation détaillé est présenté à l'Annexe II et inclut les onze encadrés qui suivent. Il débute (Figure 3-1) avec le demandeur qui transmet une requête concernant un projet existant ou encore un nouveau besoin apparu à la suite de changements dans l'état physique d'une infrastructure. Si les travaux sont déjà prévus, la demande est envoyée directement au plan triennal d'immobilisation du Gouvernement du Québec. Cette demande est transmise à un

technicien, qui effectue ensuite une estimation des coûts du projet, en respectant une marge d'erreur de classe P.

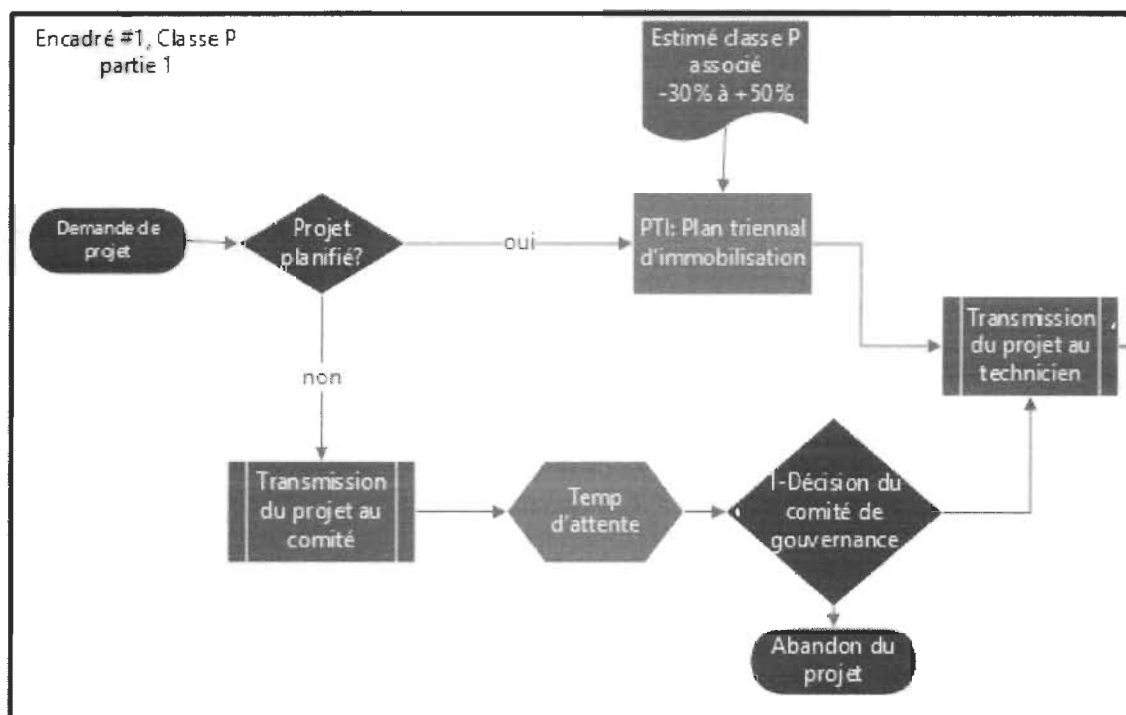


Figure 3-1: Encadré #1

Si la demande n'est pas déjà prévue, elle sera transmise au comité de gouvernance pour qu'il juge de la pertinence du besoin exprimé par le demandeur. Il s'agit du premier point décisionnel. À cette étape, la demande peut soit être transmise à un technicien qui effectuera une évaluation préliminaire des coûts ou être stoppée immédiatement. Dans la majorité des cas, les estimations tendent à être plus élevées que leur coût final et elles sont très rarement moindres que le montant prévu par les CP. Comme le projet préliminaire doit être approuvé par le comité de gouvernance, et que celui-ci ne se réunit qu'une fois par mois, cette étape prend au minimum un mois.

Si le projet va de l'avant, le technicien planifie une première rencontre avec le demandeur pour établir les besoins réels du projet (Figure 3-2). Il procède ensuite à la création de la charte de projet. Cette charte comprend plusieurs informations de base comme l'historique du projet, le contexte et les enjeux, les objectifs, une description du projet ainsi que la démarche de

réalisation. Le technicien doit effectuer la collecte des données essentielles à son analyse et rédiger de la charte de projet. Le demandeur vérifie ensuite la demande au second point décisionnel. Dans le cas où des correctifs seraient nécessaires, le document doit retourner au technicien pour être corrigé. Notez que les numéros le long des lignes allant vers la gauche représentent un retour en arrière. Le numéro représente le point décisionnel duquel provient la ligne pour retourner en arrière.

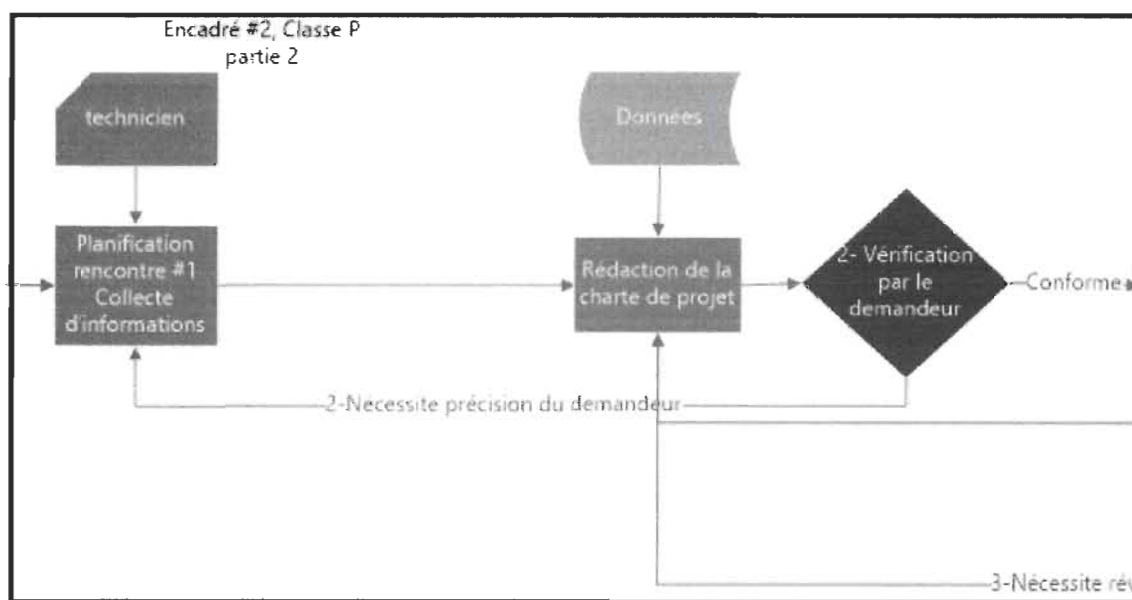


Figure 3-2: Encadré #2

Ensuite (Figure 3-3), une seconde rencontre aura lieu entre le demandeur et le technicien qui collabore avec les différentes instances concernées comme le génie, les travaux publics, etc. Cette rencontre a pour but de définir le projet pour le rendre plus applicable et précis. À la suite de cette rencontre, le chargé de projet évalue la demande et décide si elle nécessite plus de précisions. Ce troisième point décisionnel implique un retour en arrière potentiel jusqu'à la rédaction de la charte (Figure 3-2). Cette situation implique de repasser par le second point décisionnel et rallonge grandement le temps de traitement.

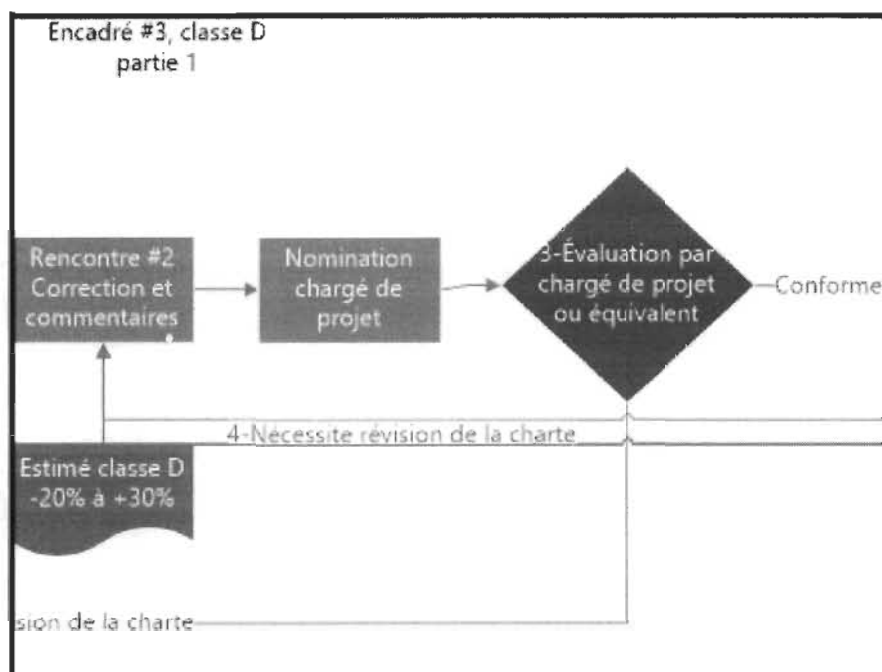


Figure 3-3: Encadré #3

Par la suite, le technicien produit l'estimation de classe D. Cette estimation est alors présentée aux différentes instances (Figure 3-4) qui suggèrent des correctifs, pour ensuite transmettre le dossier au comité de gouvernance. Il s'agit du quatrième point décisionnel. Ce point peut nécessiter un retour en arrière avant deux autres points de décision, soit les points 2 et 3 (Figure 3-2 et Figure 3-3). Il y a donc un effet de boucle potentiel qui peut augmenter grandement le temps de traitement. Le document peut alors requérir des corrections pour ensuite être évalué une dernière fois par le demandeur au point 5.

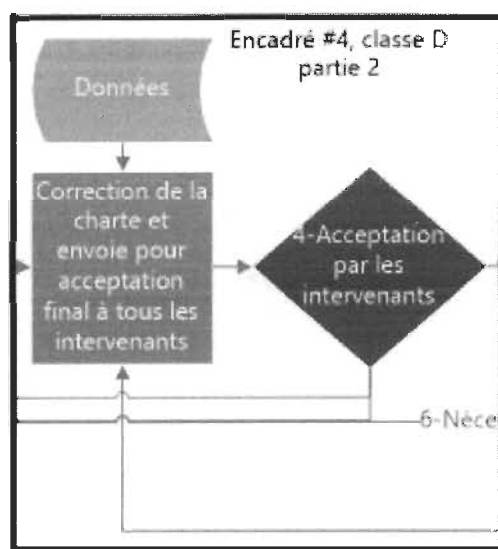


Figure 3-4: Encadré #4

Le cinquième point de décision (Figure 3-5) est réalisé après les dernières corrections. Le demandeur reçoit alors l'estimation et évalue si elle requiert des changements. Le retour en arrière est rapide car le demandeur a déjà participé à l'élaboration de l'estimation.

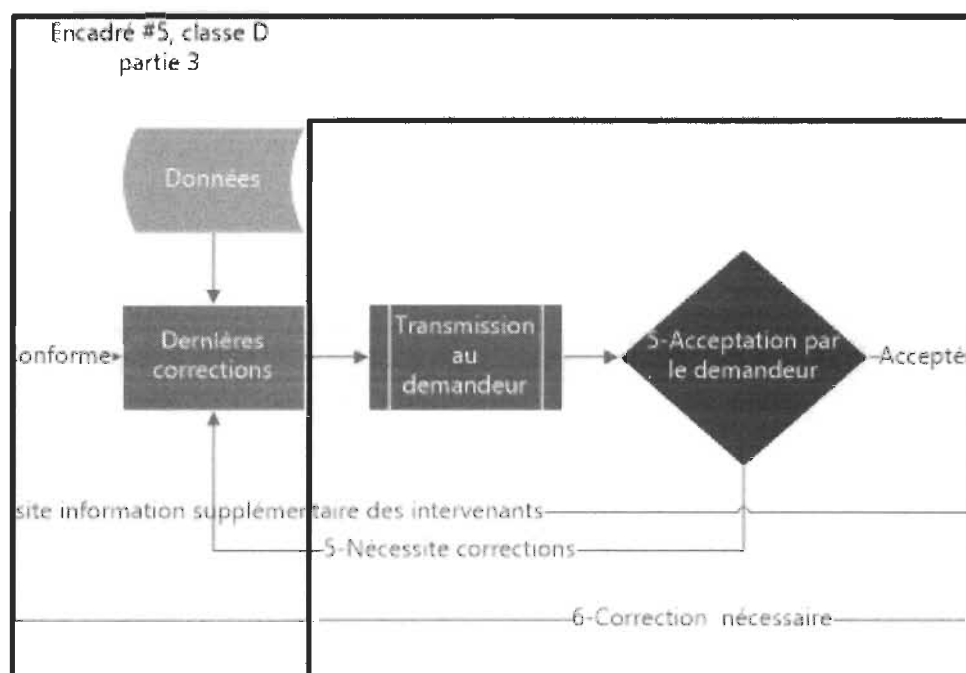


Figure 3-5: Encadré #5

Ensuite, le comité de gouvernance dispose de trois options (Figure 3-6). Il peut soit décider d'aller de l'avant avec le projet, d'abandonner le projet ou encore de renvoyer le projet pour que des correctifs ou des précisions lui soient apportés. Il s'agit d'un des deux points décisionnels ayant le plus grand impact sur le cheminement de l'estimation. Cette décision peut impliquer un retour en arrière avant le point de décision 3 (Figure 3-3). Advenant un retour aussi loin, c'est pratiquement tout le processus qui devra être refait.

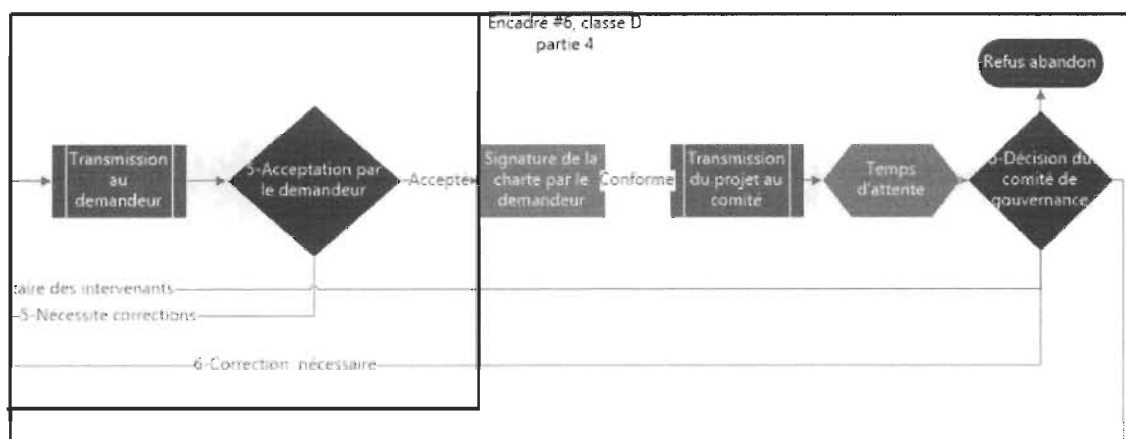


Figure 3-6: Encadré #6

Dès la création d'un projet, un numéro lui est attribué et il est classé dans le système informatique parmi les projets réels en voie d'être réalisés. Ensuite, l'étape de la programmation consiste à déterminer le département responsable ainsi que le chargé de projets et l'échéancier à respecter. L'avant-projet comprend la collecte de données auprès de diverses entités, les études de faisabilité et les analyses de coûts. Suite à la décision du comité de gouvernance, le projet est pris en charge par un chef de projet ainsi qu'une équipe de travail.

Ensuite surviennent deux tâches de conception de plans et devis (Figure 3-7). La première consiste en un devis complété à 60 %. Cette étape inclut les achats préliminaires, l'arpentage et les études géotechniques. Une évaluation du projet sera produite par le chargé de projet au septième point décisionnel.

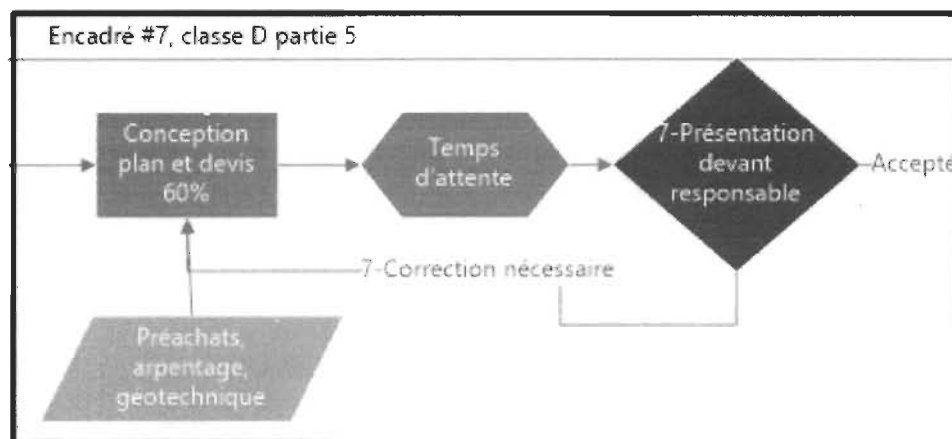


Figure 3-7: Encadré #7

Le second devis complété à 90 % consiste en une estimation de classe C (Figure 3-8). Cette nouvelle estimation tient compte des éléments soulevés dans la conception des plans et devis de classe C. L'estimation de classe B n'est pas nécessairement obligatoire et dépend des besoins de la ville et de l'importance du projet. Il s'agit du huitième point décisionnel. Advenant un projet conventionnel impliquant un budget raisonnable, le dossier passe directement à l'étape de l'appel d'offres. S'il s'agit d'un projet d'envergure, le chargé de projet créera une estimation de classe B précédant l'appel d'offres.

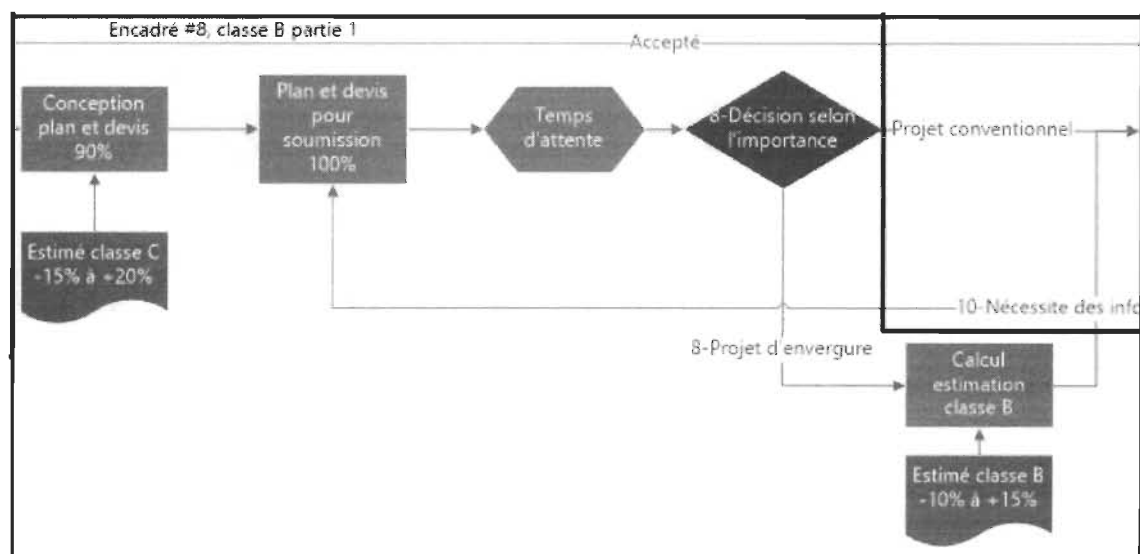


Figure 3-8: Encadré #8

Après la publication de l'appel d'offres, la municipalité doit faire un choix parmi les soumissions reçues (Figure 3-9). Si aucune offre ne répond aux critères de sélections, la municipalité doit retourner en publication d'appel d'offres. Il s'agit donc du neuvième point de décision.

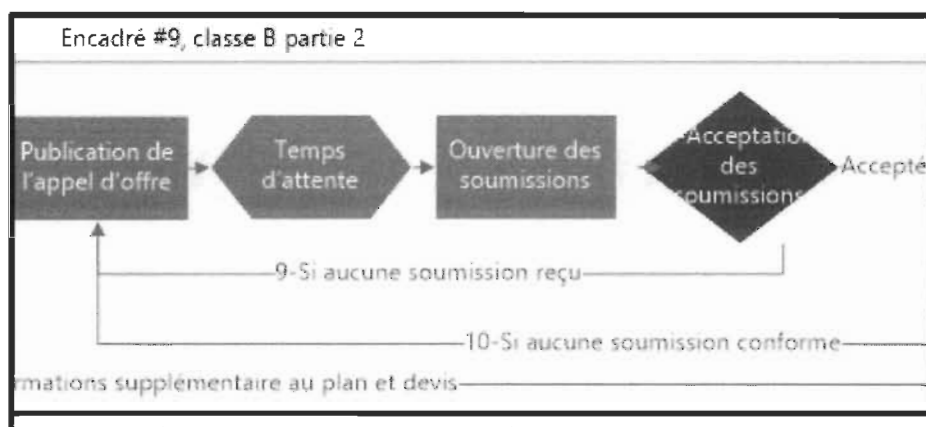


Figure 3-9: Encadré #9

La soumission retenue constitue l'estimation de classe A, qui est suivie de la réalisation du projet (Figure 3-10). Le dixième point décisionnel consiste en une analyse de conformité des soumissions. La municipalité doit comparer toutes les soumissions et évaluer celles qui répondent le mieux aux besoins. Cette étape de décision comporte deux retours en arrière possibles, car il peut arriver qu'aucune des soumissions reçues ne réponde aux critères. Dans cette situation, les plans et devis doivent être revus et ajustés pour refléter les changements au projet.

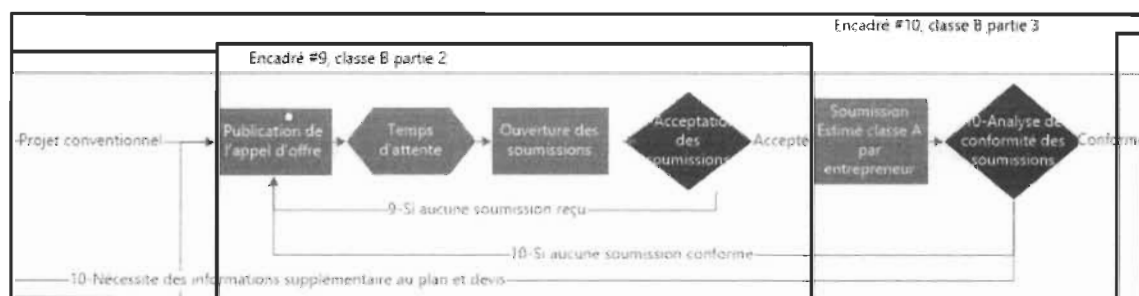


Figure 3-10: Encadré #10

Une fois le projet en soumission, les employés de la Ville vont dessiner les éléments constituant le projet dans le système JMAP (carte interactive), tel que présenté (Figure 3-11). Ce logiciel est

utilisé pour effectuer le suivi de tous les éléments constituant les infrastructures de la Ville, telles que les aqueducs, égouts, routes, etc. Le système JMAP dispose d'un accès complet aux bases de données de la Ville concernant les infrastructures et les aspects géologiques. Il permet donc une intégration de la totalité des informations, ce qui facilite la gestion financière des projets. JMAP est un système d'information géographique. Il est en mesure de fournir une multitude de données et constitue la base de travail pour la création d'un outil d'estimation automatisé. Toutefois, il est important de noter que l'utilisation de JMAP n'est aucunement obligatoire dans le processus actuel. Le dessin du réseau dans JMAP n'est fait que lorsqu'il y a un plan de construction complet signé pour le projet.

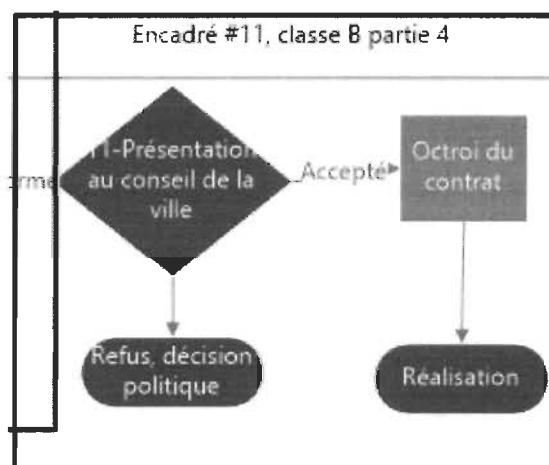


Figure 3-11: Encadré #11

Le dernier point décisionnel est celui où le projet est présenté au conseil municipal. Il est possible que le projet soit annulé à ce point décisionnel, car la vision de la Ville peut avoir changé, de sorte que le projet n'entre plus dans les plans du conseil.

3.3. Analyse du processus de soumission actuel

Dans le processus de soumission décrit plus haut, le nombre de tâches ainsi que le nombre de points de décisions pour parvenir à un résultat sont particulièrement élevés. Le nombre de personnes impliquées dans le processus de décision est très important et il est fort probable que l'on assiste à une situation de déséconomies d'échelle, comme le prédit la loi de Parkinson. Les nombreux niveaux d'approbation requis contribuent à faire augmenter les délais ainsi que les

coûts reliés aux projets. Le processus décisionnel n'étant pas bien défini, le nombre d'intervenant est toutefois difficile à déterminer à chacune des niveaux d'approbation.

Dans le processus actuel, le temps nécessaire à la préparation des estimations est difficile à évaluer, car il diffère selon la nature et l'amplitude d'un projet. Les projets sont donc séparés en trois catégories soient : petit, moyen et long. Un petit projet est un projet de moins d'un million de dollars, un projet moyen se situe entre un et deux millions de dollars et un long projet est un projet de plus de deux millions de dollars.

Dans un processus typique, un minimum de trois estimations sera produit, soit les estimations de classes P, D et C. Selon le type de projet, une quatrième évaluation pourrait être effectuée, il s'agit de la classe B. Bien que les estimations et développement du projet augmentent en précision avec les classe, il n'en demeure pas moins une certaine redondance dans les tâches. De plus, comme le comité de gouvernance ne se réunit qu'une fois par mois, en supposant que les différentes étapes réalisées par les techniciens et les ingénieurs puissent être exécutées entre les réunions du comité, il n'en demeure pas moins que le processus d'approbation prendra au minimum deux mois, s'il ne nécessite pas de correctifs.

Le processus actuel comporte onze points de décision. Sur ces onze points, huit impliquent au moins un retour en arrière. De ces huit points, quatre peuvent mener à un retour en arrière qui implique de repasser par des points décisionnels, ce qui rallonge davantage le temps de traitement. Enfin, deux points décisionnels n'impliquent pas de retour en arrière, mais nécessitent d'exécuter une tâche supplémentaire. Actuellement, le temps requis pour faire l'estimation d'un projet fluctue en fonction de son importance. Ce temps d'estimation peut varier de quelques mois à plusieurs années. L'envergure des projets a un impact direct sur le processus de soumission actuel.

Aussi, il peut arriver qu'un employé recevant un dossier ne le traite pas en priorité, occasionnant ainsi un délai de traitement supplémentaire. Dans la cartographie présentée en Annexe II, les cases vertes avec des lignes blanches représentent les transferts de dossiers entre les différents intervenants. Chacun de ces transferts de dossiers occasionne un délai de traitement.

Pour illustrer l'impact de ces points décisionnels, une valeur de 100 unités de temps est attribuée pour compléter le processus d'estimation. Cette valeur de 100 unités représente un processus d'estimation n'ayant subi aucun retour en arrière. Au cours du processus, tout retour en arrière implique un ajout de temps, qui varie de 5 % à 15 % du temps total de traitement. Cela représente 5, 10 ou 15 unités de temps, basés sur 100 unités au départ. Ces valeurs sont des temps estimés à la suite des rencontres avec le personnel de gestion de projet de la municipalité.

Plus le projet est long et coûteux, plus il nécessite l'intervention de différents membres du personnel et donc, l'ajout de temps de travail. Bien qu'une synergie puisse se dégager du travail d'un groupe plus nombreux, ce groupe doit néanmoins arriver à un consensus sur tous les aspects du projet avant de continuer. C'est pourquoi les unités de temps pour évaluer le projet augmentent linéairement en fonction de l'ampleur du projet. Cette valeur supplémentaire de temps a été déterminée à la suite de discussions avec le personnel de la municipalité.

De plus, suite aux discussions avec les CP, un point décisionnel dans le processus illustré par la cartographie mène à un retour en arrière dans 15 à 35 % des cas. Une cote de risque allant de faible à élevée a donc été associée à ces probabilités. La probabilité de retour en arrière de 15% à 35% augmente si le retour en arrière implique de repasser par plus d'un point de décision. En effet, il est alors nécessaire d'additionner de nouveau la probabilité de retours en arrière d'un point de décision déjà résolu. Par exemple, si la probabilité d'un retour en arrière est de 10% pour un point décisionnel nécessitant 20 unités de temps, alors il sera comptabilisé de la façon suivante : $20 + 10\% \times 20 = 22$ unités.

En plus des heures de travail effectuées par les techniciens et ingénieurs, il faut calculer les heures travaillées par les membres du comité de gouvernance. Ce comité est composé d'un minimum de sept membres faisant partie de la haute direction. Leurs salaires sont donc considérables. Il faut compter un minimum de deux heures par membre du comité, soit 14 heures de travail.

Le Tableau 3-3 démontre qu'en tenant compte des différents retours en arrière possibles, 110 à 185 unités de temps sont nécessaires pour compléter le processus réel, comparativement à 100 unités pour le processus idéal. Ces valeurs ont été calculées en additionnant chacun des

temps nécessaires aux différents points décisionnels, tout en considérant le temps supplémentaire occasionné par les probabilités de retours en arrière. Ce temps de traitement additionnel représente un coût important qui est assumé entièrement par la municipalité à même son budget de fonctionnement. Le présent projet permettra de diminuer les retours en arrière et donc, le temps perdu. Un processus idéal devrait prendre 100 unités de temps. Le processus réel peut quant à lui prendre jusqu'à 185 heures dans une situation où les retours en arrière sont élevés, soit près du double du temps nécessaire. Le temps maximal est calculé en fonction de la pire situation, soit celle où tous les retours en arrière se produiraient. Compte tenu des taux horaires élevés du personnel, les dépenses pour une municipalité en seront grandement augmentées. Un processus décisionnel efficace et bien défini réduit considérablement les coûts internes de gestion.

Tableau 3-3 : Impacts des points décisionnels du processus actuel sur le temps total de réalisation d'un projet

Catégorie de projet	Probabilité de retour en arrière		
	Faible	Moyenne	Élevée
Petit	110,35	118,75	128,35
Moyen	120,7	137,5	156,7
Long	131,05	156,25	185,05

3.4. Résultat de l'objectif de simplification du processus d'estimation

Le processus d'estimation souhaité pour la Ville de Trois-Rivières est fondamentalement différent du processus actuel établi par la ville. Il repose entièrement sur la base de données de la Ville de Trois-Rivières. Le processus optimisé intègre complètement le dessin dans JMAP et rend son utilisation obligatoire. Il implique de dessiner, à l'aide de polygones de coordonnées, tout nouveau projet dans le logiciel JMAP, qui utilise ensuite cette information pour calculer les coûts de façon automatique. Les risques d'erreurs et la nécessité d'apporter des correctifs en sont grandement réduits et une seule estimation est produite.

Le nouveau processus de soumission débute par une requête de projet qui est portée par le demandeur directement à l'ingénieur. L'ingénieur doit alors préciser les éléments d'infrastructures dans le logiciel JMAP. Cette tâche peut être simplifiée advenant une répétition de projets similaires. Donc, cette étape n'est nécessaire que pour de nouveaux projets d'infrastructures. Une infrastructure existante ne nécessite que peu d'ajustements pour refléter les changements apportés.

À la suite de cette étape, le système JMAP calcule le coût en utilisant un polygone de coordonnées. Le logiciel JMAP regroupe la totalité des installations municipales, qu'elles soient sur ou sous le sol. Ce logiciel a donc toutes les données nécessaires pour déterminer les besoins en installations matérielles. L'utilisateur doit dessiner un polygone pour englober les infrastructures à ajouter ou à rénover. Le polygone est converti en coordonnées par le système, qui sont utilisées par le logiciel pour déterminer les paramètres géographiques dans lesquels les modifications sont apportées.

Les informations sur les infrastructures pouvant être fournies dans JMAP sont nombreuses et devront être déterminées en fonction des besoins. Néanmoins, les informations primordiales porteront sur la nature des travaux, comme le diamètre des tuyaux, le type d'excavation, la présence de cours d'eaux ou de lignes d'approvisionnement publiques, etc. Chacune de ces caractéristiques aura un impact sur le coût des travaux à réaliser. En utilisant une série de calculs mathématiques, le logiciel donne une estimation du coût du projet. Ce calcul doit fournir une précision de plus ou moins 10 % du coût final du projet, dès la première étape.

La cartographie du processus optimisé est très similaire à celle du processus actuel, mais les actions de certains blocs sont modifiées. Dans chaque bloc nécessitant une estimation, cette dernière est exécutée à l'aide du logiciel. En standardisant l'utilisation du logiciel et en rendant son utilisation obligatoire, le temps nécessaire pour créer chacune des soumissions est réduit et la précision en est augmentée. La cartographie du processus change donc peu, mais les probabilités d'erreurs et de retours en arrière en sont réduites, de même que le temps alloué à chaque activité. Un processus ainsi standardisé permet à l'utilisateur de suivre des étapes claires et précises et évite l'utilisation d'outils de travail typiques à chacun et dont la compréhension et le maintien dépendent de leur auteur.

3.5. Analyse du résultat de simplification du processus d'estimation

Le processus simplifié a l'avantage d'impliquer beaucoup moins d'intervenants, car il est maintenant possible de se référer aux données compilées dans un logiciel plutôt que de faire appel à la mémoire collective pour faire l'évaluation d'un projet. Le temps requis pour traiter une demande en est considérablement diminué. Dès le début du processus, l'ingénieur doit saisir les changements dans le logiciel JMAP. Cette étape est beaucoup plus longue que l'évaluation préliminaire qui est effectuée par le technicien dans le processus actuel. Cependant, cette évaluation est la seule qui sera complétée au cours du processus. Le comité reçoit alors le dossier et a toutes les informations en main pour prendre une décision définitive sur un projet. Il est donc possible d'espérer réduire le délai entre la première rencontre du comité et la seconde. Actuellement, les planifications et les corrections effectuées par les techniciens demandent beaucoup de temps. Le nouveau processus réduit ces étapes afin d'accélérer les transferts de dossier. En considérant que le comité ne se rencontre qu'une fois par mois, on peut donc estimer à un mois au minimum le temps de traitement d'une demande de projet jusqu'à la demande de soumission.

L'estimation de classe C est retirée et transformée en estimation de classe B. L'estimation de classe B était réalisée seulement pour les projets d'envergure, mais comme elle sera désormais exécutée avec le programme JMAP, cette boîte de choix devient caduque. Des économies considérables en temps et en ressources seront donc réalisées lors de ces étapes.

Les données présentées au Tableau 3-1 ont été obtenues avec un échantillonnage de treize projets d'infrastructures municipales qui ont été catégorisés en fonction de leur coût dans la première colonne du tableau. Ces treize projets ont été retenus en raison de leurs configurations similaires, qui permettent donc une certaine comparaison. Les projets rejetés ne correspondaient pas à des projets d'infrastructures souterraines, ou encore la proportion des coûts reliés aux infrastructures souterraines y était insuffisante pour qu'ils soient utilisés.

L'outil d'estimation automatisé améliore la précision des informations, ce qui diminue la probabilité de retours en arrière. Comme les informations sont plus complètes, il est également possible d'estimer que le temps supplémentaire passera de 5, 10 et 15 unités de temps à 2, 4 et

8 unités. Il en va de même pour la probabilité de retour en arrière, qui passe d'un intervalle allant de 15 à 35 % à un intervalle allant de 5 à 15 %. Ces valeurs sont estimées d'après les discussions avec les intervenants de la V3R et les observations réalisés sur le terrain.

Les unités de temps ont été évaluées à la suite de discussions avec le personnel d'ingénierie de la Ville, car le recours à des méthodes manuelles de collecte de données nécessite beaucoup de temps, alors que l'utilisation d'un logiciel a le mérite d'être plus précis et permet d'éviter les biais liés aux opinions. Une collecte de données manuelle n'apporterait, dans ce cas-ci, que peu de valeur ajoutée car la difficulté d'accès aux données augmenterait considérablement le temps investi dans la création de l'outil d'estimation des coûts, mais augmenterait le niveau de précision.

Les valeurs de temps utilisées dans le calcul du processus automatisé sont très conservatrices, car les observations réalisées auprès des intervenants de la V3R dénotent de très nombreuses pertes de temps. Ces pertes de temps peuvent être de nature humaine, telles que de nombreux déplacements inutiles ou encore l'absence de l'un des collaborateurs au projet. De plus, le processus actuel n'implique aucune comparaison avec les projets passés. Comme plusieurs des projets à venir sont semblables aux projets passés, ces derniers pourraient donc être intégrés dans un outil d'estimation, ce qui réduirait considérablement le temps de traitement.

En observant le Tableau 3-4, il est possible de constater les valeurs unitaires de temps lors du nouveau processus. L'espérance de la moyenne de retours en arrière dans un projet standard est maintenant de 108 unités. Par exemple, pour un projet de moyenne envergure impliquant des retours en arrière relativement fréquents, l'estimation du projet prendra 108 heures contrairement à 137 heures auparavant. Ces valeurs sont calculées en fonction des estimations du temps total nécessaire au processus qui est pondéré en fonction des probabilités de retours en arrière.

Tableau 3-4 : Impacts des points décisionnels, nouveau processus

Catégorie de projet	Probabilité de retour en arrière		
	Faible	Moyenne	Élevée
Petit	102,64	104,14	105,76
Moyen	105,28	108,28	111,52
Long	110,56	116,56	123,04

Le coût d'un projet représente l'obstacle majeur à son avancement. Une estimation précise produite dès le départ diminue les risques qu'un projet soit annulé tardivement. Le projet peut en effet être arrêté dès le début, ce qui empêche d'y consacrer inutilement des efforts et des sommes importantes. Ces changements permettent de réduire le scénario de pertes de temps de 37 unités à 8 unités de temps. Les économies de temps ainsi produites peuvent être réinvesties à des étapes plus utiles qui créent de la valeur ajoutée, comme des projets réels qui sont menés à bien.

Les coûts d'administration d'un projet varient de 4,4 à 9,8 % des coûts totaux (Abraham 2011). Cependant, les données de cet article concernaient des projets réalisés par des entreprises privées et non par une municipalité. Dans le cas d'une municipalité, le temps octroyé à un projet est normalement beaucoup plus élevé à cause des nombreux processus administratifs requis dans le domaine public. De plus, le processus ne concerne que le travail administratif réalisé par la municipalité, car ce sont des compagnies tierces qui exécutent les travaux.

La Figure 3-12 illustre les économies monétaires du nouveau processus en fonction de trois aspects : l'importance des divers projets (petits, moyens et longs), leur probabilité de retour en arrière (faible, moyenne et élevée) ainsi que la proportion des coûts d'administration. Les économies en coûts d'administration sont déterminées en fonction d'un scénario pessimiste et d'un scénario optimiste. L'espérance représente la moyenne des probabilités qu'un scénario se produise. Le scénario optimiste est basé sur des coûts administratifs de 4,4 % du coût total d'un projet fini, alors qu'ils sont de 9,8 % dans le scénario pessimiste. L'espérance est quant à elle de 7,1 %. Les barres représentent l'économie théorique réalisée grâce aux changements apportés

au processus d'estimation en transposant la réduction du temps de gestion aux projets de la V3R. Ce calcul est réalisé selon la pondération du risque des projets. Par exemple, pour un projet dont le coût se situe entre un et deux millions de dollars avec une probabilité élevée de retours en arrière, l'économie engendrée pourrait être de 32 000 \$. Rappelons que cette valeur n'est pas comptabilisée comme coût d'un projet, car elle est prise en charge par le budget d'administration normal des municipalités.

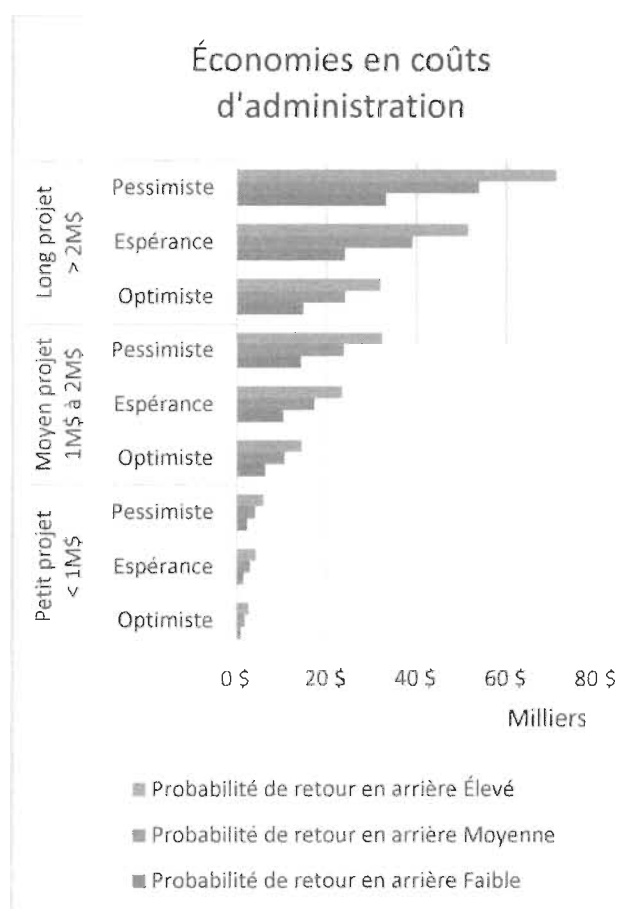


Figure 3-12 : Économies en coûts d'administration

Il est possible de constater qu'une municipalité serait en mesure de faire d'importantes économies simplement en intégrant un processus automatisé d'estimation. Ces économies avoisineraient les 70 000 \$ par projet dans le cas d'un projet long et complexe.

Il apparaît nécessaire de modifier le processus d'estimation de coût des projets à la Ville de Trois-Rivières. En plus d'être complexe, le processus actuel multiplie les pertes de temps et engendre des coûts administratifs considérables. Il est à noter que les coûts administratifs considérés dans les scénarios présentés dans la Figure 3-12 sont beaucoup moins élevés que s'ils avaient été estimés suite aux discussions avec les ingénieurs municipaux. Les discussions avec les ingénieurs ont plutôt permis d'évaluer qu'environ 25 % du coût total d'un projet est dépensé en administration. Ce montant n'est pas inclus dans le coût total, mais simplement dans les coûts d'exploitation courants des municipalités. De plus, le temps d'attente d'un dossier entre deux intervenants n'est pas comptabilisé comme un coût. Il retarde cependant grandement l'avancement des travaux. Ce temps pourrait être réduit dans un nouveau processus.

Le potentiel d'économies serait encore plus grand advenant la création d'une base de données nationale regroupant le coût de tous les projets nationaux ainsi qu'un logiciel d'estimation utilisant cette base de données en considérant la variation des coûts selon les régions et les fournisseurs régionaux. L'intérêt d'un tel système réside dans la standardisation du processus d'estimation des coûts et des soumissions municipales (Whittle, Steiner et al. 2011). En utilisant un système centralisé, chaque municipalité pourrait s'y référer et déterminer le coût en se basant sur un projet similaire d'une autre municipalité. Le logiciel pourrait combler les différences en se basant sur l'information récoltée à l'échelle nationale.

Bien que l'administration d'un projet constitue un facteur de coûts important, il ne représente qu'une petite portion des coûts. La base de données de la municipalité contient de nombreuses informations qui ne sont pas utilisées dans le processus décisionnel actuel. L'intégration à cette base de données d'un outil d'évaluation automatisé se reposant sur des facteurs de coûts significatifs produirait des estimations plus réalistes et précises. Après l'intégration de cet outil, il restera à déterminer l'efficacité du nouveau processus ainsi que son niveau d'amélioration par rapport au précédent.

CHAPITRE 4. DÉVELOPPEMENT DE L'OUTIL D'ESTIMATION DES COÛTS

La principale raison d'être d'un outil d'aide à la décision est d'obtenir un procédé plus fluide et des résultats supérieurs à ceux obtenus lors d'un processus décisionnel sans aide. Un processus impliquant un outil d'aide à la décision permet de diminuer l'impact des opinions personnelles des employés sur le processus décisionnel. De plus, l'un des avantages majeurs d'un outil d'aide à la décision est lié à la quantité de données à traiter. Une personne seule est difficilement capable de gérer un problème complexe impliquant l'analyse d'une grande quantité de données. Cependant, un outil informatisé réussit aisément une série de calculs difficilement obtenus par un humain. L'historique disponible ainsi qu'un modèle reposant sur une analyse approfondie des facteurs de coûts permet au logiciel de déterminer avec plus de précision les coûts d'un projet. L'analyse des coûts réels de projets passés permet de déterminer quels sont les facteurs de coûts majeurs et d'intégrer ces facteurs dans un logiciel.

La méthodologie élaborée pour la création de l'outil débute donc par la collecte de données sur des projets réalisés par le passé à la Ville de Trois-Rivières. Les projets seront par la suite analysés et soumis à des tests de régression linéaires et logarithmiques afin d'en dégager les facteurs qui exercent une réelle influence sur le coût. Certains facteurs peuvent n'avoir qu'une influence minime ou inexistante, ils devront donc être rejetés. Les facteurs d'influence seront ensuite intégrés dans le logiciel de calcul. L'outil sera ensuite élaboré dans le logiciel Microsoft Excel ou Minitab et subira une phase de tests afin de valider son efficacité.

Afin de répondre à la demande de la Ville de Trois-Rivières, l'outil sera développé dans l'optique de déterminer la valeur attendue de la plus basse soumission et non celle du coût réel d'un projet. Cependant, ces valeurs peuvent s'avérer très similaires dans la grande majorité des cas. Les cas où les valeurs sont différentes relèvent de changements apportés au projet en cours de route ou d'éléments extraordinaires.

4.1. Collecte de données

La collecte de données a été réalisée avec la collaboration des employés municipaux, qui ont créé des requêtes dans la base de données de la Ville de Trois-Rivières afin de fournir les informations répondant aux besoins de cette analyse. Ces informations incluent autant des données financières qu'opérationnelles.

Parmi celles-ci, on retrouve l'ensemble des informations concernant les immeubles, les infrastructures terrestres et souterraines, les routes, les systèmes d'éclairages routiers, les caractéristiques du sol, etc. La quantité de données amassée est très importante. Dans cette base de données se retrouve la totalité des informations de la municipalité concernant ses infrastructures.

Les données financières et factorielles disponibles au moment de la collecte de données regroupent 13 projets distincts. Ces projets ont tous été réalisés entre 2011 et 2016 et ils sont reliés aux systèmes de traitement des eaux ou aux aqueducs municipaux. Un laps de temps de 5 ans a été fixé pour la collecte de données. Il en a été déterminé ainsi pour réduire l'impact du facteur temps, qui peut faire fluctuer le prix des travaux de manière importante.

Deux de ces projets ont toutefois dû être exclus de l'analyse en raison de leur nature foncièrement différente des autres ainsi que par le type de coûts impliqués. Le premier projet concernait la création de puits d'eau potable, ce qui implique des travaux qui ont peu de liens avec des projets plus communs d'installation de conduites. Le second projet exclu concerne la réfection d'installations souterraines existantes. Bien qu'il eût été souhaitable que l'outil développé puisse servir autant à l'estimation du coût de projets de réfection que de projets de construction, l'influence de la présence de structures préexistantes est impossible à déterminer avec un seul projet. C'est pourquoi le projet a dû être rejeté.

L'absence de processus de fermeture de dossiers a grandement compliqué la collecte de données. Différents intervenants ont dû s'ajouter pour s'assurer que les données collectées provenaient de projets complétés et fermés. De plus, certains projets ont dû être mis de côté, car l'intégrité des données était compromise. Force a été de constater que même s'ils travaillent

dans le même département, les employés de la Ville ne semblaient aucunement faire confiance aux données de leurs collègues.

Il reste donc 13 projets permettant d'étudier le comportement des coûts en fonction des facteurs qui ont été retenus pour analyse. Ces projets sont tous similaires, soit des projets de nouvelles constructions impliquant peu de travaux de nature inhabituelle des travaux de conduites spécialisées. Ces projets représentent l'ensemble des projets analysable dans le cadre de cette étude, car ils sont les seuls projets répondant aux critères de temps et de nature utilisable. Le Tableau 3-1 présente la valeur des estimations réalisées par la Ville de Trois-Rivières pour ces projets, ainsi que celles du plus bas soumissionnaire ayant postulé.

4.2. Types de variables utilisées pour la régression

Les facteurs influençant le coût des projets peuvent être catégorisés en plusieurs types de variables, soit les variables binaires, linéaires, forfaitaires et unitaires.

Les variables binaires sont des facteurs ayant un impact ou non. L'influence de ce facteur dépend de sa présence ou de son absence, soit seulement deux possibilités. Il n'y a pas de degré d'importance entre ces deux états. Les variables forfaitaires ont un impact financier unique. Par exemple, elles peuvent inclure les éléments nécessaires au démarrage d'un chantier, comme l'installation de barrières de sécurité ou d'une roulotte pour diriger le projet. Ces coûts n'arrivent qu'une seule fois dans un projet et ne se répètent pas. Ils sont aussi indépendants de la durée ou de l'ampleur d'un projet. En effet, même un petit projet peut nécessiter des installations sanitaires pour les travailleurs. Les coûts unitaires sont davantage de nature directe, mais ils ne sont pas linéaires. Par exemple, ces coûts pourraient venir de l'ajout d'une jonction dans le réseau d'aqueducs, ou encore d'une pompe pour le réseau d'égouts. Ce type de pompe peut être nécessaire s'il est impossible d'utiliser simplement la gravité pour favoriser l'écoulement des eaux. Ces pompes représentent un coût unitaire, car il faut déboursier une somme pour chaque item, indépendamment. Bien que le nombre de pompes puisse être linéaire, il est davantage lié à un besoin déterminé par le niveau du terrain. Les variables linéaires ont, quant à elles, le potentiel de représenter la majeure partie des coûts d'un projet. La tuyauterie est sans

aucun doute la portion la plus importante des coûts des infrastructures souterraines. Le coût d'un projet devrait donc varier linéairement en fonction de la longueur des conduites.

Certains facteurs de coûts linéaires sont toutefois plus difficiles à établir. Par exemple, la présence des luminaires d'éclairage urbain, bien que cette variable soit binaire, elle relève d'un coût linéaire. Plus l'infrastructure à construire est longue, et plus il en coûtera cher. Elle reste cependant binaire, car un projet peut ne pas impliquer d'installation de luminaires.

Dans les projets passés qui ont été soumis à l'analyse, les estimations réalisées considéraient des coûts linéaires exprimés en dollars par m^2 , tm ou m^3 . Il est à noter qu'il ne s'agit pas d'une liste exhaustive et que de nombreux éléments peuvent s'y rajouter.

Il existe également des éléments de coûts forfaitaires. Ceux-ci sont toutefois rarement compris dans les estimations effectuées par la Ville. L'analyse des projets passés (

Tableau 4-1) révèle que les coûts forfaitaires et unitaires représentent en moyenne 15 % et 19 % des coûts totaux. Cependant, comme les estimations sont systématiquement trop élevées, cela n'explique pas ces résultats. Ils sont plutôt tributaires d'une surestimation des coûts linéaires (m, m², m³ et tonne métrique).

Tableau 4-1: Projet par type de coût

Projet	m ² \$	Unitaire \$	mètre linéaire \$	m ³ \$	tonne \$ métrique \$	Forfaitaire \$	total \$	% linéaire	% unitaire	% forfaitaire
1	168 047	545 143	414 479	4 618	286 449	215 816	1 634 552	53	33	13
2	315 180	229 857	443 557	0	0	218 706	1 207 300	63	19	18
3	915 917	443 420	801 808	106 567	0	334 868	2 602 580	70	17	13
4	676	481 623	348 379	0	0	56 177	886 855	39	54	6
5	178 533	59 373	76 423	0	0	131 481	445 809	57	13	29
6	74 899	139 535	1 439 247	0	0	283 123	1 936 804	78	7	15
7	505 280	4 168	321 796	110 012	0	53 507	994 762	94	0	5
8	75 215	21 990	54 013	10	0	52 716	203 943	63	11	26
9	138 580	2 878	200 855	0	0	53 549	395 863	86	1	14
10	831 639	256 101	511 518	0	0	310 310	1 909 569	70	13	16
11	187 108	236 204	248 550	0	0	76 951	748 813	58	32	10
12	49 043	49 492	42 723	9 585	0	27 580	178 423	57	28	15
13	228 155	53 662	84 409	0	0	47 761	413 987	76	13	12
							moyenne	67	19	15
							écart-type	15	15	7

Comme il a été mentionné, les données fournies par la Ville de Trois-Rivières incluent quatre types de coûts : binaires, linéaires, unitaires et forfaitaires. Ces types de coût sont ceux fournis dans la documentation des projets de la V3R. Bien que les coûts linéaires soient faciles à identifier, ils ne sont pas nécessairement liés à la longueur du projet. Il faut donc les départager. De plus, les coûts unitaires restent trop vagues. Après analyse, plusieurs coûts qui étaient

catégorisés comme unitaires ressemblent davantage à des données linéaires non répertoriées. L'analyse des coûts est donc plus complexe qu'il n'y paraît. Il peut être difficile pour les utilisateurs de départager les éléments liés à des coûts linéaires ou simplement forfaitaires, car l'utilisation de la nomination « unité » semble servir de débarras pour de nombreuses données qui devraient être ailleurs. L'analyse des éléments de coûts a permis de relever de nombreuses erreurs de catégorisation. Par exemple, le groupe forfaitaire inclut souvent des éléments de coûts appartenant aux autres catégories, pourvu que l'entrepreneur les offrît à forfait.

4.3. Facteurs sélectionnés pour l'analyse

La revue de littérature avait permis de faire ressortir de nombreux facteurs ayant un impact sur le coût des projets. Des discussions avec les ingénieurs chargés de projets de la Ville de Trois-Rivières ont ensuite permis d'orienter la recherche des facteurs. Parmi les facteurs identifiés, vingt ont été approuvés par les ingénieurs de la Ville, qui les ont retenus pour leur influence sur le comportement des coûts, de même que pour leur aspect quantifiable. Le Tableau 4-2 présente ces facteurs.

Tableau 4-2: Facteurs proposés et analysés

No	Facteur étudié	Type de facteurs				Commentaires
		Binaire	Linéaire	Forfaitaire	Unitaire	
1	Présence de route		✓			La valeur dépend de la longueur de la route à réaliser au-dessus des installations souterraines.
2	Distance du lieu d'excavation		✓			Le coût sera plus ou moins élevé en fonction de la distance à parcourir pour transporter le matériel.
3	Type de conduites		✓			Le coût peut varier en fonction du type de conduites utilisées, que ce soit pour l'achat du matériel ou des techniques utilisées.
4	Économies d'échelle		✓			Plus un projet est important, plus il est possible de réaliser des économies dans divers domaines tel le matériel.

Tableau 4-2 : Facteurs proposés et analysés (suite)

5	Présence de cours d'eau	✓		✓		Un cours d'eau peut signifier des installations supplémentaires qui nécessitent un coût forfaitaire supplémentaire ou des coûts linéaires si le projet suit le cours d'eau.
6	TQM, chemin de fer ou autre	✓		✓		Cela peut signifier des installations supplémentaires qui nécessitent un coût forfaitaire supplémentaire ou des coûts linéaires si le projet suit l'installation existante.
7	Présence de services publics	✓	✓			La présence de services publics existante peut être binaire si l'installation est perpendiculaire sinon, elle pourrait s'avérer linéaire si elle suit le projet de construction.
8	Type de sol	✓	✓			Le type de sol a une influence binaire à savoir si le sol est problématique ou non. Si le sol est problématique, alors il aura un impact linéaire.
9	Profondeur de la nappe phréatique	✓	✓			La nappe phréatique sera linéaire jusqu'au moment qu'elle deviendra binaire, car à partir d'une certaine profondeur, elle n'aura plus aucun impact sur les coûts.
10	Coût du pétrole		✓			La machinerie utilisée ainsi que les matières premières des tuyaux sont liées au pétrole, l'impact financier est donc linéaire et direct.
11	Éclairage de rue		✓			Ce coût dépendra de la densité recherchée d'une installation d'éclairage.
12	Réfection ou construction	✓				Un projet peut être une nouvelle construction ou une réfection d'installation existante.
13	Terrassement		✓	✓	✓	Les coûts de terrassement sont très volatiles et dépendent principalement de l'objectif recherché par un aménagement paysager. Cette variable peut donc être autant linéaire que forfaitaire ou unitaire.
14	Densité de population		✓			La densité de population croît de façon linéaire et impact directement la complexité du système municipal.

Tableau 4-2 : Facteurs proposés et analysés (suite)

15	Drainage des sols	v			Un drainage de sol plus difficile complexifie l'excavation. Cette variable est donc linéaire : moins le sol bénéficie d'un drainage adéquat, plus l'excavation sera coûteuse.
16	Mètres linéaires	v			Les mètres linéaires d'un projet correspondent à la distance parcourue pour un projet d'installation d'infrastructures souterraines municipales.
17	Résidentiel/commercial	v			Un système commercial est plus complexe en raison de la demande plus importante en liquides. Cette variable est donc binaire pour démontrer cette différence de complexité.
18	Feux de circulation	v			Une intersection requiert des feux de circulation. Cette valeur est binaire. Elle pourrait toutefois devenir linéaire en nombre entier en considérant le nombre d'intersection.
19	Bassin	v			Cette valeur est binaire. Elle pourrait toutefois devenir linéaire en nombre entier. Dans le contexte actuel, il n'y a aucun projet de plus d'un bassin.
20	Hiver/Été	v			La terre étant gelée l'hiver, la différence est majeure et binaire entre les deux différents états.

Parmi les facteurs identifiés, la présence de routes, d'éclairage de rue ou d'intersections ainsi que le type de conduites sont fondamentalement différents des autres éléments non linéaires. En effet, la pertinence de ces facteurs ne peut être remise en doute, car leur présence influence de façon linéaire le coût d'un projet. Il en va de même avec le nombre de mètres linéaires du projet. Plus un projet couvre une grande distance et plus il en sera coûteux. Dans certains projets où ces facteurs sont présents, des économies d'échelle pourraient être réalisées, mais dans une mesure très restreinte. La variable des économies d'échelle n'en sera donc que plus difficile à évaluer, car son impact est trop large et dépend de nombreux facteurs économiques. Le nombre de projet limité ne permet d'aller plus loin dans l'analyse de ce facteur.

La présence de cours d'eau, TQM ou d'un chemin de fer ainsi que la présence de services publics impliquent des installations préexistantes qui pourraient avoir un impact sur les coûts d'un nouveau projet. En effet, ces installations peuvent influencer le choix d'une méthode d'excavation ou nécessiter la réalisation d'autres types de travaux. Le type de sol, la profondeur de la nappe phréatique et le coût du pétrole sont des facteurs qui pourraient avoir un impact selon certaines conditions. Leur influence sur les coûts est plus incertaine. Par exemple, il est possible que les conséquences économiques d'une baisse ou d'une hausse du coût du pétrole soient absorbées par l'entrepreneur. Comme les données collectées à l'époque de l'exécution des projets n'incluaient pas les détails de consommation pétrolière ou des difficultés entraînées par le type de sol, il est impossible de déterminer leur impact sur le coût final des projets, qu'il soit positif ou négatif.

Le type de sol, la profondeur de la nappe phréatique et le drainage n'ont pas nécessairement d'impact sur les coûts. Le type de sol ou la profondeur de la nappe phréatique ne complexifient généralement pas l'exécution des travaux. En ce qui concerne la nappe phréatique, si sa profondeur dépasse le niveau de l'excavation, son impact sur le déroulement des travaux et sur les coûts sera nul. De plus, selon le type de travaux à réaliser ou le type d'excavation avec ou sans tranchée, cette variable aura plus ou moins d'importance. Un bon drainage évitera des travaux supplémentaires nécessaires à l'installation des infrastructures.

La variable du type de travaux réalisés, à savoir s'il s'agit de travaux de construction ou de réfection, implique des différences fondamentales inhérentes au genre de projet. Un projet de nouvelle construction doit inclure tous les coûts encourus, car il n'implique aucune structure préexistante. Comme une réfection implique des infrastructures déjà présentes, il est alors possible d'utiliser différentes techniques afin de réaliser des économies. Cependant, compte tenu du nombre de projets très limité soit 13 dans notre étude de cas, particulièrement en ce qui a trait aux projets de réfection, ce facteur de coûts sera rejeté.

Les coûts de terrassement sont des coûts à part dans les projets. Ils peuvent être nécessaires ou être considérés comme un projet en soi. De plus, un aménagement paysager plus ambitieux pourrait être réalisé, selon la volonté des élus municipaux. Ce facteur est donc impossible à évaluer avec précision. Il y a cependant une part des travaux de remplissage qui répond à un

modèle linéaire, unitaire ou forfaitaire. De nombreux facteurs se retrouvent dans le tableau, même s'il s'est avéré impossible de les analyser, car il pourrait s'avérer utile de les intégrer dans une future collecte de données pour en faire l'analyse.

La densité de population pourrait avoir un impact financier en raison du nombre de jonctions prévu dans le nouveau système. Cependant, il n'y aura pas d'autres impacts sur l'allure générale des installations d'égouts ou d'aqueducs.

Un projet résidentiel ou commercial, des feux de circulation ou encore la présence d'un bassin de rétention sont tous des facteurs pouvant influencer les coûts d'un projet de façon directe. Leur présence ou leur absence implique des coûts supplémentaires. Cependant, l'influence de la variable portant sur la période de réalisation d'un projet, soit en hiver ou en été, est cependant à l'inverse de ce que l'on pourrait penser de prime abord. Bien que le cadre de travail soit plus difficile en hiver, des travaux hivernaux facilitent l'excavation, car la terre gelée fait diminuer la hauteur de la nappe phréatique et rend la terre plus ferme. Les tranchées peuvent ainsi être moins profondes et plus abruptes, tout en évitant qu'elles ne s'effondrent.

4.4. Approche initiale

Comme les coûts linéaires représentent la majeure partie des coûts totaux des travaux d'aqueducs et d'égouts, il semblait tout naturel de chercher à créer une équation calculant le coût en fonction de la distance couverte.

La méthodologie initiale qui semblait la mieux adaptée était donc de relier les coûts en proportion du nombre de mètres linéaires du projet et d'utiliser un pourcentage considérant les coûts « autres », qui incluraient les coûts unitaires et forfaitaires. Le pourcentage utilisé pour les coûts autres serait ajusté en fonction de plusieurs facteurs qui sont : le prix du pétrole, la profondeur de la nappe phréatique, l'élévation topographique, la densité de population du secteur, le zonage du secteur, la présence de cours d'eau, le type de sol et de drainage, la saison de réalisation des travaux et la présence de services publics. Toutes ces données sont actuellement disponibles, car elles sont intégrées à la base de données de la Ville, cependant, elles ne sont pas utilisées lors des estimations financières des travaux d'aménagements.

4.5. Problématique de l'approche initiale

L'approche initiale de calculer les coûts selon les types de coûts (linéaire, mètre carré, mètre cube, unitaire ou forfaitaire) est cependant impraticable, en raison de la trop grande disparité des données financières collectées. En effet, une analyse préliminaire des données financières des treize projets retenus démontre clairement que les coûts ne semblent pas varier linéairement en fonction de la longueur des projets.

Cette analyse préliminaire des données révèle que les coûts linéaires varient (

Tableau 4-1) entre 39 % à 94 % des coûts totaux d'un projet, avec une moyenne de 67 % et un écart type de 15 %. Les coûts autres représentent en moyenne 15 % et les coûts unitaires 19 %. Encore ici, les écarts types sont très élevés, soit 7 % et 15 % respectivement. L'approche initiale d'analyse des facteurs sera ainsi submergée par des éléments non récurrents ou des cas spéciaux.

Ces écarts sont en grande partie explicables par le manque de standardisation, qui semble endémique dans la gestion des projets municipaux. En effet, il est observable tant au niveau des méthodes de travail que de l'utilisation des outils disponibles et même au niveau de la terminologie employée. Ce dernier point complique grandement l'utilisation des données actuellement compilées.

4.6. Méthodologie de l'expérimentation

Compte tenu des écarts relevés lors de l'analyse préliminaire des données, il est nécessaire de développer une nouvelle approche d'expérimentation. La méthode préconisée consiste à effectuer des analyses de régression linéaire sur différents ensembles de facteurs selon les projets, afin de déterminer les facteurs ayant le plus d'impact sur le coût total d'un projet.

Il sera d'abord nécessaire de porter une attention particulière aux dépenses incluses dans les coûts totaux des projets et d'exclure les éléments non récurrents comme un aménagement paysager. Chaque facteur de coût devra être évalué pour déterminer s'il est représentatif d'un projet d'aqueducs ou d'égouts municipaux. Cette évaluation a permis d'exclure les coûts d'aménagement paysager, qui n'étaient présents que dans trois projets, mais qui représentaient 95 % des coûts de l'un d'entre eux. Il est à noter que le Tableau 3-1 présente les coûts estimés pour chacun des projets, en excluant les coûts d'aménagement paysager.

Il faudra ensuite créer plusieurs groupes différents de facteurs ayant un impact potentiel sur les coûts totaux. Compte tenu du nombre de projets très limité, il est difficile de concevoir avec certitude une formule gagnante. Malgré l'importance relative de la Ville de Trois-Rivières, ses bases de données comportent peu de projets d'infrastructures souterraines passés ou en cours de réalisation. Il est donc nécessaire d'établir un protocole de tests sur les données disponibles.

La méthode du Jackknife a été élaborée lorsque les données comparatives sont insuffisantes (Wu 1986 145, Efron 1992, Sahinler and Topuz 2007). Cette approche est utile lorsque peu de projets sont disponibles et qu'il est impossible d'en obtenir davantage, que ce soit pour des considérations pratiques ou économiques. Elle permet de tenter de trouver le coût d'un projet, en excluant ce même projet lors de l'élaboration du modèle d'évaluation. Le Jackknife est donc utilisé, par exemple, pour déterminer la valeur du projet no1 en construisant la formule à l'aide des 12 autres projets. Cette méthode est ensuite utilisée sur chacun des projets suivants.

4.7. Facteurs retenus

Le

Tableau 4-3 présente les facteurs qui ont été pris en considération durant les tests qui ont mené à l'élaboration de l'équation. Malheureusement, plusieurs ont été rejetés par manque d'information nécessaire à une évaluation adéquate. La présence de cours d'eau est un exemple flagrant, car dans la région de Trois-Rivières, tous les projets impliquaient des travaux près d'un cours d'eau. Cette variable était donc impossible à isoler pour évaluation. De plus, ces facteurs ont toutes été catégorisées comme binaires dans les tests réalisés. Les cinq derniers facteurs du

Tableau 4-3 sont ceux qui ont été retenus. Compte tenu du faible nombre de projets à analyser, il est impossible de tester tous les facteurs en même temps. Une approche plus ciblée est donc nécessaire. Les autres facteurs ont été testés selon le plan d'expérience en Annexe III en les ajoutant aux cinq facteurs retenus au départ (Annexe IV). Le R carré du modèle ainsi que le P des facteurs testés sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 4-3 : Analyse des facteurs

Facteurs	Situation	Retenu	R ² (%)	P	Raison
Présence de route	rejeté	non	s/o		Tous les projets incluait des routes, il est donc impossible d'isoler ce facteur.
Distance du lieu d'excavation	rejeté	non	s/o		Données non disponibles
Type de conduites	rejeté	non	s/o		Ce facteur n'a pas pu être étudié en raison du manque de variété des projets.
Économies d'échelle	rejeté	non	s/o		Trop d'éléments entrent en compte pour déterminer l'impact. Ce facteur pourrait faire l'objet d'une étude à lui seul.
Présence de cours d'eau	rejeté	non	s/o		Tous les projets traversaient des cours d'eau, il est donc impossible d'isoler ce facteur.
TQM, chemin de fer ou autre	rejeté	non	s/o		Tous les projets comportaient un TQM, chemin de fer ou autre. Il est donc impossible d'isoler ce facteur.
Présence de services publics	rejeté	non	s/o		L'information disponible ne permettait pas d'évaluer ce facteur.
Type de sol	rejeté	non	s/o		Ce facteur n'a pas pu être étudié par un manque de variété des projets.
Profondeur de la nappe phréatique	étudié	non	s/o		Les données ne permettent pas de déterminer à partir de quelle profondeur la nappe phréatique devient problématique. Cela dépend de facteurs externes incontrôlables.
Coût du pétrole	étudié	non	s/o		Il a été impossible d'évaluer ce facteur car bien que le prix historique du baril de pétrole soit disponible, il n'est pas certain que ce prix se reflète à la pompe ou que l'entrepreneur n'est pas un contrat à terme avec un fournisseur.
Éclairage de rue	étudié	non	96,58	0.111	L'analyse de régression n'a pas démontré que ce facteur influence le coût d'un projet.

Tableau 4-3 : Analyse des facteurs (suite)

Réfection ou construction	étudié	non	94,59	0.957	L'analyse de régression n'a pas démontré que ce facteur influence le coût d'un projet.
Terrassement	étudié	non	97,49	0,039	L'analyse de régression a démontré que ce facteur influence le coût d'un projet, mais comme il n'y a que très peu de projet incluant du terrassement, il est préférable de l'exclure car son influence peut s'avérer trop importante si le terrassement voulu est minime.
Densité de population	étudié	non	94,68	0.763	La difficulté d'obtention des données pour ce facteur fait en sorte qu'il n'est pas utilisé.
Drainage des sols	étudié	non	95,45	0.326	L'analyse de régression n'a pas démontré que ce facteur influence le coût d'un projet.
Feux de circulation	étudié	oui	95,36	0.001	Données disponibles et fiables qui sont utilisées dans l'analyse de régression.
Température	étudié	oui	95,36	0.002	Données disponibles et réduites à un facteur binaire, à savoir si le projet a été réalisé durant l'hiver ou non.
Zonage	étudié	oui	95,36	0.000	Le zonage des projets était résidentiel ou commercial, donc le facteur est binaire.
Longueur du projet	étudié	oui	95,36	0.057	Ce facteur, mis en logarithme, est l'un des facteurs déterminants.
Présence de bassins de rétention	étudié	oui	95,36	0.000	Le coût de construction des bassins en fait l'un des facteurs déterminants.

4.8. Création de l'équation générale

La création de l'équation est donc basée sur les facteurs ayant été retenus. Lors des tests effectués avec tous les facteurs disponibles, aucune régression linéaire n'était possible. Un nombre insuffisant de données rendait impossible l'élaboration d'une équation ayant plus de facteurs que de projets analysables. Le modèle contenant tous les facteurs analysés du plan d'expérience se trouve à l'Annexe III. Compte tenu de la difficulté liée au nombre restreint de

projets, les tests ont dû être effectués avec plusieurs groupes de facteurs, en considérant la longueur de l'excavation réalisée pour chacun des tests. Des tests sur des facteurs tels que la densité de population ou la profondeur de la nappe phréatique ont été réalisés, mais se sont montrés non concluants.

La stratégie a donc évolué vers l'utilisation de variables binaires et les variables continues ont été mises de côté, car il était impossible de déterminer à quel moment une variable continue devenait significative. Dans le cas de la profondeur de la nappe phréatique, bien que l'on sache qu'une nappe plus profonde facilite les travaux d'excavation, ce facteur n'est plus significatif lorsqu'une certaine profondeur est atteinte. Si l'on considère que les travaux d'excavation sont systématiquement réalisés dans une profondeur de cinq mètres, le fait que la nappe phréatique ait une profondeur de sept mètres ou 50 mètres n'a aucune importance. Le facteur doit donc être traité comme binaire lorsque la profondeur dépasse les cinq mètres. Il en va de même avec la densité de population, qui nécessitait de déterminer à partir de quelle densité la variable devient binaire. Le facteur du type de secteur (résidentiel ou commercial) s'est avéré plus efficace et binaire, comparativement à la densité de population qui n'était pas un facteur probant. Un second plan d'expérience a été créé pour simplifier les calculs lors de la création de l'outil. On retrouve ce plan simplifié à l'Annexe V.

Le modèle élaboré inclut cinq variables fonctionnelles, dont seul le nombre de mètres linéaires du projet est continu. Les quatre autres variables sont binaires. C'est avec cet ensemble de variables qu'il a été possible d'obtenir les meilleurs résultats. Les résultats des tests de régression linéaire et logarithmique se retrouvent dans le Tableau 4-4. Chacune des colonnes représente la constante ou coefficient liée aux facteurs retenus. Ces valeurs témoignent de l'impact de chacun des facteurs sur les coûts totaux.

Tableau 4-4 : Coefficients et constantes des équations

Facteurs retenus	Logarithmique	Linéaire
Constante	5,0828	212 264
Mètre linéaire du projet (x)	0.150231	187 802
Résidentiel/commercial (a)	0.702497	1 167 580
Feux de circulation (b)	-0.475439	- 897 306
Bassin (c)	0.175772	913 553
Hiver/été (d)	0.396637	559 730

La constitution des deux formules se présentes donc ainsi :

$$\text{Coût} = 10\exp(5,0828 + 0.15023x + 0.70249a - 0.47543b + 0.17577c + 0.39663d)$$

$$\text{Coût} = 212264 + 187802x + 1167580a - 897306b + 913553c + 559730d$$

Deux approches ont été utilisées pour bâtir l'équation de calcul, soit une régression linéaire et une régression logarithme. Dans les deux cas, les coefficients de détermination (R carré) ainsi que les coefficients de corrélation (ρ) sont dans les normes acceptables, soit un R carré de plus de 95 % et des ρ en dessous de 0,05 (Tableau 4-5). Dans la version logarithmique, seule la variable continue des mètres linéaires a été utilisée comme telle. Cette approche a permis de diminuer l'effet multiplicateur de cette variable. Sans la base logarithmique, le poids de cette variable dans l'équation a tendance à devenir trop important et annule l'effet des autres variables. Il s'agit cependant de la variable ayant le plus grand impact sur les coûts.

Tableau 4-5: Résultats des P et R carrés

Facteurs retenus	Logarithmique		Linéaire	
	ρ	R carré	ρ	R carré
Constante	0.000	96.57%	0.097	95.36%
Mètre linéaire du projet (x)	0.026		0.057	
Résidentiel/commercial (a)	0.000		0.001	
Feux de circulation (b)	0.000		0.000	
Bassin (c)	0.024		0.000	
Hiver/été (d)	0.000		0.002	

Il demeure néanmoins la présence de deux facteurs négatifs dans les coefficients, ce qui pose de sérieux problèmes dans l'élaboration des équations. Ces coefficients négatifs sont causées par la présence de feux de circulation et peuvent être interprétées de diverses manières. Parmi les 13 projets soumis à l'étude, cinq projets comportaient des feux de circulation. Cet élément représente en moyenne 6,84 % des coûts totaux. Cette proportion monte à près de 10 % pour les projets numéro huit et treize. Ce résultat pourrait suggérer que lorsqu'un projet inclut des feux de circulation, certains autres éléments de coûts sont moins élevés. Par exemple, il n'y a pas de système d'égouts ou d'aqueducs présents en dessous d'un feu de circulation. Il est en effet peu probable de retrouver un réseau sanitaire complexe directement en dessous d'une intersection, car il faudrait alors fermer toute l'intersection pour réaliser de simples travaux d'entretien. Un projet d'infrastructures souterraines incluant des intersections avec feux de circulation sera donc moins coûteux, en raison de sa nature moins complexe.

Il est également possible que les projets incluant des feux de circulation étaient de nature différente. Par exemple, en supposant que les travaux nécessitaient seulement des égouts simples, ne séparant pas les eaux grises des eaux pluviales, le coût du projet serait nettement moins élevé. Les eaux grises sont des eaux usées qui proviennent d'un usage domestique, alors que les eaux pluviales proviennent des systèmes de drains agricoles ou des averses de pluies. Ces dernières étant nettement moins corrompues peuvent pratiquement être directement rejetées dans un cours d'eau. L'installation de systèmes doubles augmente grandement les coûts de construction, comparativement à un système simple. Par contre, les systèmes simples augmentent les coûts de traitement des eaux usées, en augmentant la quantité d'eau à traiter, car les eaux pluviales doivent être traitées au même titre que les eaux grises. Des résultats concluants sont obtenus en créant une formule basée sur 13 projets. Que ce soit avec une régression linéaire ou logarithmique, il est possible d'obtenir une équation incluant une constante et cinq facteurs pour déterminer les coûts totaux d'un projet. La Figure 4-1 démontre les résultats d'analyse obtenus avec Minitab lors de la régression logarithmique. La Figure 4-2 quant à elle montre les résultats d'analyse de la régression linéaire. Le tableau présenté à l'Annexe IV montre les calculs de coûts en base logarithmique. Cette approche a aussi été tentée pour déterminer les coûts de production totaux, mais s'est avérée non concluante.

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 50828 + 0,150231 log m. lin. + 0,702497 res/com - 0,475439
 bin FEUX DE CIRCULATION + 0,175772 bin Bassin + 0,396637
 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	50828	0,133262	381418	0,000
log m. lin.	0,15023	0,053379	2,8144	0,026
res/com	0,70250	0,068231	102958	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,47544	0,073472	-64711	0,000
bin Bassin	0,17577	0,061098	2,8769	0,024
hiv/été	0,39664	0,059552	66603	0,000

Summary of Model

S = 0,0698436 R-Sq = 98,00% R-Sq = 96,57 %
 PRESS = 0,137681 R-Sq(pred) = 91,93%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,67161	1,67161	0,334321	68,535	0,0000086
log m. lin.	1	0,80183	0,03864	0,038640	7,921	0,0259803
res/com	1	0,51197	0,51710	0,517102	106004	0,0000176
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,03218	0,20427	0,204269	41875	0,0003434
bin Bassin	1	0,10923	0,04037	0,040374	8276	0,0237569
hiv/été	1	0,21639	0,21639	0,216392	44360	0,0002878
Error	7	0,03415	0,03415	0,004878		
Total	12	17057				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	log total 3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
12	5,25145	5,37271	0,0474810	-0,121261	-2,36736	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Figure 4-1: Analyse de régression logarithmique

General Regression Analysis: total exclu versus m lin.; res/com; ...

Regression Equation

total excluuant suivant3 = 212264 + 187802 m lin. + 1,16758e+006 res/com -
897306 bin FEUX DE CIRCULATION + 913553 bin Bassin
+ 559730 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	212264	110848	19149	0,097
m lin.	188	83	2,27141	0,057
res/com	1167584	153671	75979	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-897306	150129	-59769	0,001
bin Bassin	913553	149478	6,11164	0,000
hiv/été	559730	120245	46549	0,002

Summary of Model

S = 165593 R-Sq = 97,29% R-Sq = 95,36 %
PRESS = 897494363510 R-Sq(pred) = 87,35%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Regression	5	69 029E+12	69 029E+12	13 805E+12	503 476
m lin.	1	1,54848E+12	1,41474E+11	1,41474E+11	5,1593
res/com	1	21 219E+12	15 829E+12	15 829E+12	577 288
bin FEUX DE CIRCULATION	1	85 074E+11	97 957E+11	97 957E+11	357 233
bin Bassin	1	17 876E+12	10 242E+12	10 242E+12	373 521
hiv/été	1	59 416E+11	59 416E+11	59 416E+11	216 683
Error	7	19 194E+11	19 194E+11	27 421E+10	
Total	12	70 948E+12			

Source	P
Regression	0,0000245
m lin.	0,0573582
res/com	0,0001265
bin FEUX DE CIRCULATION	0,0005549
bin Bassin	0,0004855
hiv/été	0,0023284
Error	
Total	

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	total excluuant suivant3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	203943	-101837	111826	305780	2,50370 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Figure 4-2: Analyse de régression linéaire

4.9. Test du Jackknife sur 13 projets

Le nombre limité de projets à analyser doit être pallié en utilisant l'approche Jackknife pour tester le modèle. Le

Tableau 4-6 présente les résultats obtenus avec la méthode Jackknife.

Tableau 4-6 : Comparaison des soumissions avec les résultats des régressions et du Jackknife sur 13 projets

No de projet	Soumission retenue (\$)	Estimation V3R		Estimation formule générale		Jack Knife sur projet	
		Prix (\$)	Écart (%)	Prix (\$)	Écart absolu (%)	Prix (\$)	Écart absolu (%)
1	1 634 552	1 964 730	20,2	1 686 374	3,2	1 715 916	4,98
2	1 207 300	1 793 082	48,5	1 422 987	17,9	1 662 740	37,72
3	2 602 580	4 123 679	58,4	2 505 326	3,7	2 340 537	10,07
4	886 855	1 324 625	49,4	785 597	11,4	746 488	15,83
5	445 809	511 525	14,7	433 336	2,8	426 858	4,25
6	1 936 804	3 349 272	72,9	1 993 539	2,9	2 035 074	5,07
7	994 762	1 892 175	90,2	895 639	10,0	861 008	13,45
8	203 943	344 175	68,8	208 482	2,2	212 258	4,08
9	395 863	583 478	47,4	366 613	7,4	291 930	26,25
10	1 909 569	2 626 700	37,6	1 983 671	3,9	2 121 632	11,11
11	748 813	868 180	15,9	750 094	0,2	750 771	0,26
12	178 423	337 850	89,4	235 889	32,2	299 858	68,06
13	413 987	529 495	27,9	340 265	17,8	269 506	34,90
		moyenne	49,3	moyenne	8,9	moyenne	18,2

Les tests complets du Jackknife se trouvent dans l'Annexe VI : Tests du Jackknife sur 13 projets. Dans le Tableau 4-6 se retrouvent les tests effectués avec le modèle de régression en linéaire avant d'appliquer la méthode Jackknife. Les tests montrent qu'avec la nouvelle équation, il est possible d'obtenir des résultats plus précis qu'avec l'outil d'estimation actuel de la V3R pour chacun des projets.

Avec le Jackknife, il est possible d'obtenir des résultats plus précis que l'outil d'estimation de la V3R, sauf pour le 13^e projet. La moyenne des écarts absolus de l'outil de la V3R est de 49,3 %, alors que celle obtenue avec l'équation est de 8,9 %. Il est cependant intéressant de constater l'augmentation à 18,2 % en utilisant le Jackknife. Malgré les coefficients négatifs obtenues, les résultats sont tout de même probants. La diminution des écarts par rapport au modèle de la Ville de Trois-Rivières est intéressante, d'autant plus que le nouvel outil requiert nettement moins d'efforts pour les utilisateurs.

Il est cependant important de tenir en compte le risque de surapprentissage lors de l'analyse des résultats. Le surapprentissage survient lorsqu'une analyse statistique correspond trop à un ensemble particulier de données, mais ne peut pas prévoir de manière fiable les observations futures lorsqu'on y inclut des données supplémentaires. Un échantillonnage plus grand aurait évité cette situation, mais cela s'est avéré impossible. L'information qu'il est possible d'acquérir d'une population est limitée par l'échantillon. Plus l'échantillon est grand et plus il est possible de tester des facteurs et de collecter de l'information.

Une étude suggère que deux observations par variable indépendante sont suffisantes pour réaliser une régression linéaire. (Austin and Steyerberg 2015) Il y a cependant d'autres règles du pouce qui mentionnent plutôt 10 observations par variable indépendante (Vittinghoff and McCulloch 2007). Malgré cette recommandation, l'étude mentionne également qu'il est possible d'obtenir une couverture statistique et un biais acceptable avec moins de 10 observations.

Pour minimiser le risque de surapprentissage, l'échantillon a été sélectionné en prenant en compte un maximum de projets.

4.10. Analyse sur 12 projets

Le plus grand écart est obtenu avec le 12^e projet. Ce projet a un coût total considérablement plus faible que les autres. Le coût de tous les autres projets est supérieur à 395 k\$, mais ce dernier a un coût inférieur à 180 k\$, ce qui a pour résultat que la constante de l'équation invalide le calcul. Il peut donc être intéressant de retirer ce projet pour refaire une série de tests. Il est généralement indiqué de retirer les données extrêmes d'une étude pour améliorer la précision des résultats. Bien que ce projet ne soit pas fondamentalement différent des autres, car il s'agit

tout de même d'un projet d'infrastructures souterraines, son faible coût total suggère de l'exclure afin d'éliminer l'influence des extrêmes dans le modèle. En retirant volontairement un projet, le risque de surapprentissage refait surface. Cependant, le ratio de 12 projets pour 5 facteurs analysés est tout de même raisonnable selon l'étude d'Austin, qui recommande un minimum de deux sujets par variable (Austin, 2015 #181).

Le Tableau 4-7 présente les constantes et coefficients utilisées de calcul des coûts en excluant le projet no13.

Tableau 4-7 : Constantes et coefficients des équations (excluant le projet no12)

Facteurs retenus	Logarithmique	Linéaire
Constante	5,3002	249 760
Mètre linéaire	0,09158	175 883
Résidentiel/commercial	0,66851	1 149 350
Feux de circulation	-0,51787	539 367
Bassin	0,19397	- 904 187
Hiver/été	0,36891	916 256

La constitution des deux formules se présentes donc ainsi :

$$\text{Coût} = 10\exp(5,3002 + 0.09158x + 0.66851a - 0.51787b + 0.19397c + 0.36891d)$$

$$\text{Coût} = 249760 + 175883x + 1149350a - 539367b + 904187c + 916256d$$

Le Tableau 4-8 présente les résultats des tests de régression par facteurs retenus ainsi que le P de chacun des facteurs. La Figure 4-3 présente les résultats d'analyse obtenus lors de la régression logarithmique avec seulement 12 projets. La Figure 4-4, quant à elle, présente les résultats d'analyse de la régression linéaire avec seulement 12 projets. Le tableau présenté à l'Annexe VI montre les calculs de coûts en base logarithmique.

Tableau 4-8: Résultats des P et R carrés avec 12 projets

Facteurs retenus	Logarithmique		Linéaire	
	p	R carré	p	R carré
Constante	0.000	99.02%	0.16	94.53%
Mètre linéaire du projet (x)	0.018		0.11	
Résidentiel/commercial (a)	0.000		0.001	
Feux de circulation (b)	0.000		0.008	
Bassin (c)	0.001		0.001	
Hiver/été (d)	0.000		0.001	

Exclusions 12^e projet en Log

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 53002 + 0,0915765 log m. lin. + 0,66851 res/com - 0,51787 bin
FEUX DE CIRCULATION + 0,19397 bin Bassin + 0,368913 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	53002	0,0780489	679090	0,000
log m. lin.	0,09158	0,0283821	3,2266	0,018
res/com	0,66851	0,0336276	198798	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,51787	0,0364735	-141985	0,000
bin Bassin	0,19397	0,0296990	6,5312	0,001
hiv/été	0,36891	0,0292715	126032	0,000

Summary of Model

S = 0,0336847 R-Sq = 99,46% R-Sq = 99,02 %
PRESS = 0,0261942 R-Sq(pred) = 97,94%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	12 621	12 621	0,252 437	222 479	0,000 0010
log m. lin.	1	0,48441	0,01181	0,011813	10,411	0,0179881
res/com	1	0,40714	0,448 42	0,448 424	395 207	0,000 0011
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,06873	0,228 74	0,228 744	201 598	0,000 0076
bin Bassin	1	0,12168	0,048 40	0,048 400	42 656	0,000 6153
hiv/été	1	0,18023	0,180 23	0,180 229	158 840	0,000 0153
Error	6	0,00681	0,00681	0,001135		
Total	11	12 689				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

No unusual observations

Figure 4-3 : Analyse de régression logarithmique à 12 projets

Exclusions 12^e projet sans Log

General Regression Analysis: total exclua versus m lin.; res/com; hiv/été; ...

Regression Equation

total excluant Terrassement et c = 249760 + 175883 m lin. + 11493e+006
res/com + 539367 hiv/été - 904187 bin FEUX
DE CIRCULATION + 916256 bin Bassin

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	249760	155712	16039	0,160
m lin.	176	94	1,87166	0,110
res/com	1149350	171329	6,70846	0,001
hiv/été	539367	139673	3,86163	0,008
bin FEUX DE CIRCULATION	-904187	161403	-5,60203	0,001
bin Bassin	916256	159803	5,73365	0,001

Summary of Model

S = 176848 R-Sq = 97,01% R-Sq = 94,53 %
PRESS = 1,031054E+12 R-Sq(pred) = 83,60%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Regression	5	60974E+12	60974E+12	12194E+12	389922
m lin.	1	1,06328E+12	1,09560E+11	1,09560E+11	3,5031
res/com	1	18190E+12	14074E+12	14074E+12	450034
hiv/été	1	35815E+11	46638E+11	46638E+11	149122
bin FEUX DE CIRCULATION	1	18287E+12	98149E+11	98149E+11	313828
bin Bassin	1	10281E+12	10281E+12	10281E+12	328748
Error	6	18765E+11	18765E+11	31275E+10	
Total	11	62850E+12			

Source	P
Regression	0,000169
m lin.	0,110425
res/com	0,000533
hiv/été	0,008346
bin FEUX DE CIRCULATION	0,001378
bin Bassin	0,001222
Error	
Total	

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

total excluant	Obs	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
Obs Terrassement et c	8	203943	-93074,6	121743	297018
					23155 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Figure 4-4 : Analyse de régression linéaire à 12 projets

Un résumé des résultats des tests de régression obtenus en excluant le douzième projet est présenté dans le Tableau 4-9. Une nette amélioration des résultats est constatée pour la fonction logarithmique, mais pas pour la régression linéaire standard. Avec 12 projets, l'équation créée avec la régression logarithmique est plus précise.

Tableau 4-9 : Comparaison des résultats à 13 et 12 projets

Nb projets	Type	R carré	p (m linéaire)
13 projets	Logarithmique	96,57 %	0,26
	Linéaire	95,36 %	0,057
12 projets	Logarithmique	99,02 %	0,018
	Linéaire	94,53 %	0,11

Nous constatons que la régression logarithmique sur douze projets produit un meilleur R carré. Les résultats sont toutefois inversés pour la régression linéaire. Bien que ces résultats soient intéressants, ils doivent être testés avec les projets disponibles. Le Tableau 4-10 montre que les écarts absolus ont diminué, tant avec la formule générale conçue à l'aide des 12 projets qu'avec le Jackknife. Dans tous les cas, le modèle linéaire procure des résultats plus précis que l'outil développé par la Ville de Trois-Rivières.

Tableau 4-10: Comparaison des soumissions avec les résultats des régressions et du Jackknife excluant le 12^e projets

No de projet	Soumission retenue	Estimation V3R		Estimation formule générale		Jack Knife sur projet	
		Prix (\$)	Écart absolu (%)	Prix (\$)	Écart absolu (%)	Prix (\$)	Écart absolu (%)
1	1 634 552	1 964 730	20,2	1 729 542	5,8	1 785 713	9,2
2	1 207 300	1 793 082	48,5	1 236 087	2,4	1 285 132	6,4
3	2 602 580	4 123 679	58,4	2 688 729	3,3	2 874 661	10,5
4	886 855	1 324 625	49,4	836 654	5,7	813 640	8,3
5	445 809	511 525	14,7	446 834	0,2	447 379	0,4
6	1 936 804	3 349 272	72,9	1 915 274	1,1	1 899 273	1,9
7	994 762	1 892 175	90,2	906 259	8,9	874 903	12,0
8	203 943	344 175	68,8	220 442	8,1	236 197	15,8
9	395 863	583 478	47,4	392 332	0,9	380 031	4,0
10	1 909 569	2 626 700	37,6	1 848 480	3,2	1 728 775	9,5
11	748 813	868 180	15,9	813 398	8,6	857 531	14,5
13	413 987	529 495	27,9	385 598	6,9	337 720	18,4
Moyenne			46,0		4,6		9,2

Les tests du Jackknife réalisés en excluant le projet 12 présentent une nette amélioration. En retirant le seul projet inférieur à 200 000 \$, un modèle plus précis est obtenu, mais sa validité est restreinte à des projets d'ampleur suffisante. L'ampleur minimale qui a été déterminée serait de l'ordre d'environ 200 000 \$. Cette valeur minimale semble indispensable pour obtenir des résultats réalistes compte tenu de la variabilité des résultats. Il pourrait être envisageable de tester le modèle avec des valeurs beaucoup plus élevées pour en démontrer la validité pour des projets de très grande envergure, soit de plus de deux millions de dollars. Il est cependant impossible dans le contexte actuel d'effectuer de tels tests, car aucun projet de cette envergure n'a été réalisé dans la période étudiée à la Ville de Trois-Rivières. Il est possible de consulter la totalité des tests réalisés avec la méthode Jackknife à l'Annexe VII.

CHAPITRE 5. DISCUSSION

Des régressions de validités de types Jackknife ont été réalisés pour déterminer si l'ampleur d'un projet pouvait avoir une réelle influence sur les facteurs significatifs. Pour ce faire, les projets ont été séparés en trois catégories, soit les projets ayant un coût de moins d'un million de dollars, les projets se situant entre un et deux millions et les projets de plus de deux millions. Ces tests n'ont montré aucune corrélation lorsque les échantillons sont séparés en trois groupes. Il n'est donc pas possible d'isoler les projets selon leur importance. Cette avenue mériterait cependant une attention particulière, car le nombre de projets très limité n'a pas permis d'approfondir plus ce sujet d'étude.

De nombreux facteurs sont évalués dans ce document. Cependant, seuls deux facteurs de coût se sont avérés nettement significatifs. Il s'agit de la longueur du projet en mètres linéaires ainsi que de la variable discrète concernant le zonage résidentiel ou commercial. Ce facteur est aussi évalué comme variable continue, à savoir qu'un projet peut englober une portion résidentielle et une portion commerciale. Il aurait été donc été erroné de considérer cette variable comme binaire.

Il s'agit d'ailleurs d'une des limitations majeures d'un modèle linéaire d'évaluation des coûts. Lors de projets municipaux, pour différentes raisons, même si un projet est réalisé dans un secteur résidentiel, il peut inclure des portions industrielles selon les besoins. Il peut aussi inclure des feux de circulation ou non, selon le design du quartier. Il peut aussi inclure de très nombreux autres éléments qui ne sont pas nécessairement typiques d'un projet d'infrastructures souterraines. Il est donc très difficile de déterminer avec seulement quelques données quel sera le coût du projet réel.

Ce document a voulu démontrer la valeur ajoutée d'un processus standardisé d'estimation des coûts des infrastructures souterraines. Cependant, il n'y a pas de standardisation pour un projet typique avec des paramètres établis. Chaque projet dans la municipalité est prévu et piloté comme un projet unique, sans aucun lien avec les projets précédemment réalisés. Aucune standardisation n'existe. Comme aucun suivi de fin de projet n'est réalisé, il serait impensable

d'envisager une standardisation à ce point. Comme démontré dans la première partie de ce mémoire, d'importants gains peuvent être obtenus avec une standardisation de processus, mais pour obtenir de meilleurs résultats et permettre à ce modèle de fonctionner adéquatement, la standardisation devra aller plus loin. Par exemple, lors de la construction ou de la réfection d'un quartier, les employés de la Ville déterminent au cas par cas les besoins en main-d'œuvre et en matériaux. Il n'y a pas de liste de vérification standardisée. À cause du manque de disponibilité des informations, il est impossible d'évaluer l'implication des différents facteurs.

Il est impossible pour l'instant d'affirmer que le modèle créé ici est réellement représentatif des coûts liés à un projet municipal. Le manque flagrant de projets disponibles à l'analyse rend improbable la validité du modèle, malgré les résultats positifs. Lors de discussions avec le personnel de la V3R, il s'est avéré peu probable que le modèle fonctionne avec les projets à venir. Le nombre de facteurs étant probablement trop limité pour déterminer avec certitude le coût réel d'un projet. Il n'en demeure pas moins que les résultats obtenus avec le modèle Excel de la V3R sont tellement variables que cet outil ne constitue pas non plus une option envisageable.

Les tests effectués pour créer un outil d'estimation se limitent à la Ville de Trois-Rivières. Comme mentionné plus haut, il a été très difficile de trouver des projets similaires dans la base de données et surtout, d'analyser les données. Comme il n'y a aucune standardisation des méthodes de travail, il n'existe aucun processus de fermeture de dossier. Advenant l'intégration de plusieurs villes dans le projet, il faudrait que ces dernières unissent leurs efforts pour uniformiser leurs processus avant même de penser à joindre leurs données.

Ce problème rend d'autant plus difficile l'amélioration du modèle. Actuellement, pour chaque nouveau projet réalisé, il faut analyser chacun des éléments de coûts pour les séparer par type. Chaque gestionnaire de projets ayant son propre système de gestion, ce travail doit donc être réalisé manuellement. Pour continuer d'améliorer le modèle, il faudra donc une volonté globale d'amélioration des processus internes. Advenant la création d'une base de données nationale, cette base de données devrait inclure des standards de gestion des données municipales pour permettre une intégration nationale.

Le manque de standardisation constitue un problème majeur qui complique grandement l'utilisation des données collectées pour la création de l'outil d'estimation. Ce manque de standardisation est particulièrement gênant lorsque l'on s'attarde aux unités saisies dans la base de données. Par exemple, pour une donnée en mètres linéaires, cinq terminologies différentes ont été utilisées, soit : m, m. l., m. lin, mètre ou mètre linéaire. Bien que toutes ces terminologies se ressemblent, leur disparité rend la vie dure aux utilisateurs qui voudraient utiliser les données telles quelles.

Tout au long du projet avec la Ville de Trois-Rivières, le manque de standardisation était flagrant, tant au niveau des méthodes de travail, de l'utilisation des outils disponibles et même de la terminologie employée. Le simple établissement de la cartographie du processus d'estimation était une expérience en soi. Elle a en effet nécessité la consultation de nombreux ingénieurs municipaux, qui divergeaient grandement d'opinions sur les étapes à suivre. Par ailleurs, il est peu probable qu'un processus normalisé naisse de ces rencontres. En effet, il est très difficile pour un intervenant externe de démontrer la pertinence d'un changement de paradigme et de faire le constat d'un problème organisationnel majeur. Pour les intervenants internes, il est d'autant plus dur d'admettre cette problématique et de générer un changement.

Au cours des premiers tests de l'outil en situations réelles, les employés municipaux l'ont automatiquement comparé au modèle d'estimation interne et ont jugé que l'estimation produite était trop éloignée de celle donnée par leur modèle pour être juste. Ils préfèrent se fier à l'outil en place plutôt qu'à l'outil automatisé, même s'ils n'en ont jamais vérifié la fiabilité et qu'il produit des écarts importants. Ils persistent donc à utiliser un modèle complexe et imprécis, tout en utilisant ce même modèle pour discréditer la solution proposée.

CHAPITRE 6. CONCLUSION

Les infrastructures municipales requièrent des apports de fonds importants, qui suivront une tendance à la hausse dans les prochaines années. L'acceptabilité de ces projets auprès de la population est donc un enjeu capital pour les municipalités. Les villes disposent déjà des plans de réfection, mais les estimations des coûts manquent de précision et n'incluent pas toujours l'ensemble des coûts réels associés aux projets. Ce rapport démontre la pertinence de simplifier le processus d'estimation des projets d'infrastructure et de créer un outil d'évaluation automatisé. Cet outil améliorera la précision des calculs, tout en réduisant les intrants. Le temps de traitement devrait être amélioré de 7 % à 34 %. Le processus optimisé permettrait de passer en moyenne de 38 unités de temps perdu en retours en arrière inutiles à seulement 10 unités. Le nouveau processus mis en place devra être accepté et approuvé par la chaîne hiérarchique pour devenir un outil obligatoire dans l'attribution des contrats. La méthode d'évaluation actuelle du coût des projets est trop imprécise pour répondre à la demande accrue en ressources.

Bien que l'application du modèle d'évaluation des coûts développé lors de ce mémoire soit limitée dans la réalité, il n'en demeure pas moins qu'une telle approche présente un potentiel certain. Il propose en effet une nouvelle piste d'évaluation beaucoup plus rapide et possiblement plus précise.

Le manque de standardisation des méthodes de travail, le nombre limité de projets ainsi que l'absence de suivi de fin de projet sont très problématiques. Dans l'éventualité d'une suite à ce projet, il serait intéressant de collecter le détail de chacun des facteurs mentionnés dans ce mémoire, pour chacun des futurs projets. De plus, au fur et à mesure que cette collecte d'information serait réalisée, une standardisation des projets devrait être effectuée. Le modèle linéaire d'évaluation des coûts devrait ensuite être revu en fonction des nouvelles informations collectées, qui permettraient sans doute l'intégration de nouveaux facteurs dans l'équation. Le nombre accru de projets permettrait alors de valider la valeur de prédiction de l'outil.

L'outil proposé se limite aux travaux municipaux souterrains. Il serait cependant intéressant et certainement novateur de tenter d'intégrer d'autres éléments de coûts, tels que des travaux de voirie ou d'éclairage urbain. L'utilisation de facteurs linéaires pour réaliser des estimations

financières de projets d'infrastructure a un potentiel certain qui pourrait être applicable dans plusieurs situations. De nombreux types de travaux municipaux répondent à des facteurs linéaires, même s'il ne s'agit que d'un simple entretien. Par exemple, des travaux simples tels qu'un nettoyage d'égouts pourrait être liés à des facteurs linéaires. Même si des coûts supplémentaires sont à prévoir, un échantillonnage suffisamment important permettrait de les identifier facilement. En bref, l'outil présenté au cours de ce travail présente de nombreuses possibilités d'améliorations et pourrait intégrer de nombreux types de travaux, moyennant quelques efforts de développement.

LISTE DES RÉFÉRENCES

(2010). RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE D'IMPACT DE LA RÉGLEMENTATION. G. d. Canada. Gazette du Canada, Gazette du Canada. **Vol. 144(12).**

Abraham, D. (2011). Development of a true-cost concept for renewal of municipal underground pipeline systems. 3494603 Ph.D., The University of Texas at Arlington.

Ackoff, R. L. (1977). "Optimization+ objectivity= optout." European Journal of Operational Research 1(1): 1-7.

Austin, P. C. and E. W. Steyerberg (2015). "The number of subjects per variable required in linear regression analyses." Journal of Clinical Epidemiology 68(6): 627-636.

Baloi, D. and A. D. Price (2003). "Modelling global risk factors affecting construction cost performance." International journal of project management 21(4): 261-269.

Becker, M. C. (2004). "Organizational routines: a review of the literature." Industrial and corporate change 13(4): 643-678.

Boone, S., J. Westland and R. Nusink (1999). "Comparative evaluation of building responses to an adjacent braced excavation." Canadian geotechnical journal 36(2): 210-223.

Chen, L., T. F. Henning, A. Raith and A. Y. Shamseldin (2015). "Multiobjective Optimization for Maintenance Decision Making in

Infrastructure Asset Management." Journal of Management in Engineering: 04015015.

Cheng, Y.-M. (2014). "An exploration into cost-influencing factors on construction projects." International Journal of Project Management **32**(5): 850-860.

Christensen-Szalanski, J. J. J. (1978). "Problem solving strategies: A selection mechanism, some implications, and some data." Organizational Behavior and Human Performance **22**(2): 307-323.

Christian, J. and H. Caldera (1988). "Earthmoving cost optimization by operational research." Canadian journal of civil engineering **15**(4): 679-684.

Clark, B. H. (2000). "Managerial perceptions of marketing performance: efficiency, adaptability, effectiveness and satisfaction." Journal of Strategic Marketing **8**(1): 3-25.

Clark, R., M. Sivaganesan, A. Selvakumar and V. Sethi (2002). "Cost Models for Water Supply Distribution Systems." Journal of Water Resources Planning and Management **128**(5): 312-321.

Cyert, R. M. and J. G. March (1963). "A behavioral theory of the firm." Englewood Cliffs, NJ **2**.

Delecroix, B. (2005). La mesure de la valeur de l'information en intelligence économique.

Denègre, J. and F. Salgé (2004). "L'information géographique." Que sais-je? 2(3122): 12-37.

Efron, B. (1992). Bootstrap methods: another look at the jackknife. Breakthroughs in Statistics, Springer: 569-593.

Elhag, T. M. S., A. H. Boussabaine and T. M. A. Ballal (2005). "Critical determinants of construction tendering costs: Quantity surveyors' standpoint." International Journal of Project Management 23(7): 538-545.

Gangavarapu, B. S. (2004). Analysis and comparison of traffic disruption using open-cut and trenchless methods of pipe installation. 1419955 M.S., Michigan State University.

Geldreich, E. E., K. R. Fox, J. A. Goodrich, E. W. Rice, R. M. Clark and D. L. Swerdlow (1992). "Searching for a water supply connection in the Cabool, Missouri disease outbreak of *Escherichia coli* 0157:H7." Water Research 26(8): 1127-1137.

Gerbet, T. (2016). Infrastructures d'eau dans les villes : besoins immenses, budgets insuffisants. Radio Canada.

Ghoddousi, P., E. Eshtehardian, S. Jooybanpour and A. Javanmardi (2013). "Multi-mode resource-constrained discrete time–cost–resource optimization in project scheduling using non-dominated sorting genetic algorithm." Automation in Construction 30: 216-227.

Hanna-Attisha, M., J. LaChance, R. C. Sadler and A. C. Schnepp (2016). "Elevated Blood Lead Levels in Children Associated With the Flint Drinking Water Crisis: A Spatial Analysis of Risk and Public Health Response." American Journal of Public Health **106**(2): 283-290.

Hirshleifer, J. and J. G. Riley (1992). The analytics of uncertainty and information, Cambridge University Press.

Kaming, P. F., P. O. Olomolaiye, G. D. Holt and F. C. Harris (1997). "Factors influencing construction time and cost overruns on high-rise projects in Indonesia." Construction Management and Economics **15**(1): 83-94.

Kim, G.-H., S.-H. An and K.-I. Kang (2004). "Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning." Building and environment **39**(10): 1235-1242.

Kim, K. (2005). Ccost analysis for renewal of sewer system in the city of Grand Rapids, Michigan. 1428944 M.S., Michigan State University.

Macauley, M. K. (2005). The Value of Information: A background paper on measuring the contribution of space-derived earth science data to national resource management, Resources for the Future.

MAMROT. (2013). "GUIDE D'ÉLABORATION D'UN PLAN D'INTERVENTION POUR LE RENOUVELLEMENT DES CONDUITES D'EAU POTABLE, D'ÉGOUTS ET DES CHAUSSÉES." Ministère des Affaires Municipales, Régions et Occupation du Territoire Ministère des Affaires Municipales, Régions et Occupation du Territoire. from http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/infrastructures/plan_intervention_renouvellement/guide_plan_intervention.pdf.

March, J. G. and H. A. Simon (1958). "Organizations."

Mendis, D., K. N. Hewage and J. Wrzesniewski (2013). "Reduction of construction wastes by improving construction contract management: A multinational evaluation." Waste Management and Research **31**(10): 1062-1069.

Merkhofer, M. W. (1977). "The value of information given decision flexibility." Management Science **23**(7): 716-727.

Nguyen The, V. (1993). "Inputs, outputs et fonctions de coût bancaire: critiques et reformulation." Revue d'économie financière(27): 155-168.

Ormsby, C. (2009). A framework for estimating the total cost of buried municipal infrastructure renewal projects A case study in Montreal. MR61623 M.Eng., McGill University (Canada).

Parkinson, C. N. and R. C. Osborn (1957). Parkinson's law, and other studies in administration, Houghton Mifflin Boston.

Ranyard, J. C., R. Fildes and T. I. Hu (2015). "Reassessing the scope of or practice: The Influences of Problem Structuring Methods and the Analytics Movement." European Journal of Operational Research **245**(1): 1-13.

Rokstad, M. M. and R. M. Ugarelli (2015). "Minimising the total cost of renewal and risk of water infrastructure assets by grouping renewal interventions." Reliability Engineering & System Safety **142**: 148-160.

Rudolph, J. W. and N. P. Repenning (2002). "Disaster dynamics: Understanding the role of quantity in organizational collapse." Administrative Science Quarterly **47**(1): 1-30.

Rust, R. T. and M.-H. Huang (2014). "The Service Revolution and the Transformation of Marketing Science." Marketing Science **33**(2): 206-221.

Sahinler, S. and D. Topuz (2007). "Bootstrap and jackknife resampling algorithms for estimation of regression parameters." Journal of Applied Quantitative Methods **2**(2): 188-199.

Sekar, V. R. (2011). "Web-Based and Geospatially Enabled Tool for Water and Wastewater Pipeline Infrastructure Risk Management."

Selvakumar, A., R. M. Clark and M. Sivaganesan (2002). "Costs for water supply distribution system rehabilitation." Journal of water resources planning and management **128**(4): 303-306.

Tighe, S., M. Knight, D. Papoutsis, V. Rodriguez and C. Walker (2002). "User cost savings in eliminating pavement excavations through employing trenchless technologies." Canadian journal of civil engineering **29**(5): 751-761.

Vemulapally, R. (2010). "Development of standard geodatabase model and its applications for municipal water and sewer infrastructure."

Vittinghoff, E. and C. E. McCulloch (2007). "Relaxing the Rule of Ten Events per Variable in Logistic and Cox Regression." American Journal of Epidemiology **165**(6): 710-718.

Whittle, L. G., K. Steiner and S. Sinha (2011). The need for National Data Standards for Condition Assessment. Proceedings of the Pipelines 2011 Conference. Seattle, WA. doi.

Wu, C.-F. J. (1986). "Jackknife, bootstrap and other resampling methods in regression analysis." the Annals of Statistics: 1261-1295.

ANNEXE 1

Fichier estimation préliminaire V3R

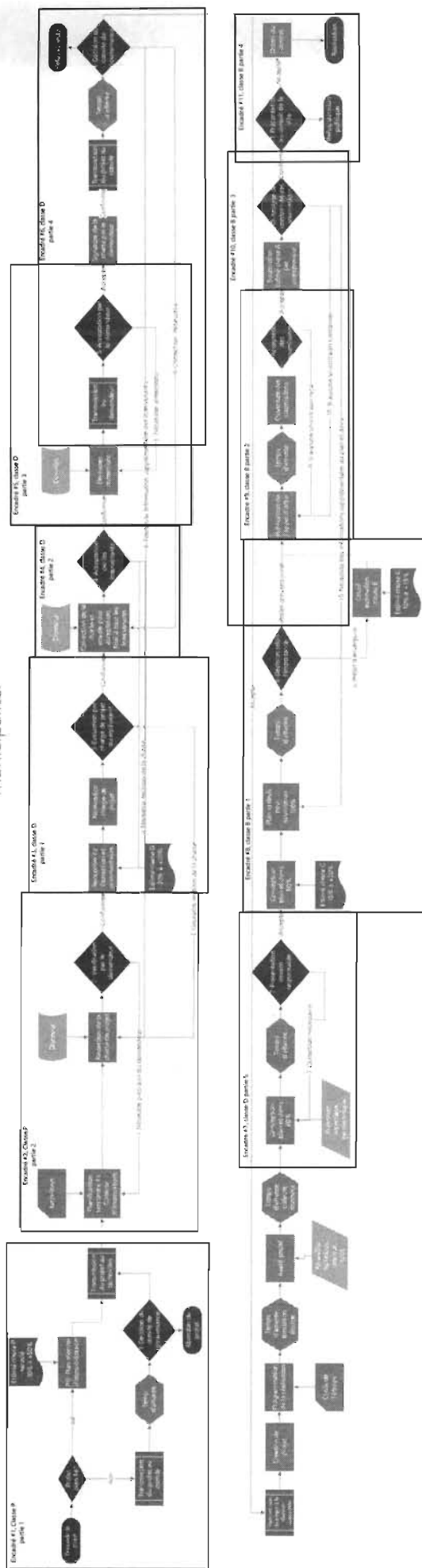
1- TYPE DE PROJET Prolongement de services: <input type="checkbox"/> Réfection de services existants: <input type="checkbox"/>		3- EAU POTABLE oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Branchement seulement: oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Diamètre des conduites (mm): 150 200 250 300 350 400 450 Longueur de conduites (m): <input type="text"/> Alimentation temporaire: oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	
2- INFORMATIONS GÉNÉRALES a) Type de rue: Locale: <input type="checkbox"/> Collectrice: <input type="checkbox"/> Industrielle: <input type="checkbox"/> b) Densité de population: Résidentielle: <input type="checkbox"/> Basse (8 logements et moins): <input type="checkbox"/> Haute (8 logements et plus): <input type="checkbox"/> c) Parcours d'autobus: oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> d) Route de camion: oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> e) Longueur du projet (m): <input type="text"/> f) Largeur moyenne des pavages (m): <input type="text"/> g) Nombre de lots à desservir: ou Largeur moyenne des lots (m): <input type="text"/> h) Nombre d'intersections: <input type="text"/> i) Contrôle de la nappe phréatique: oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> j) Entrée majeure aux travaux: Bell <input type="checkbox"/> Gaz <input type="checkbox"/> Hydro <input type="checkbox"/>		4a- ÉGOUT SANITAIRE/UNITAIRE oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Station de pompage: oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Diamètre des conduites (mm): 200 250 300 375 450 525 600 Longueur de conduites (m): <input type="text"/> Profondeur moyenne si > 3,750 (m): <input type="text"/> 4b- CONDUITE DE REFOULEMENT oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> En tranchée ouverte <input type="checkbox"/> Par forage <input type="checkbox"/> Diamètre des conduites (mm): 50 150 250 Longueur de conduites (m): <input type="text"/> 5- ÉGOUT PLUVIAL oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Station de pompage: oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Diamètre des conduites (mm): 300 375 450 525 600 750 900 Longueur de conduites (m): <input type="text"/> 6- DRAINAGE PLUSARDS: oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Essais (m): <input type="text"/> Ponceaux totalisants <input type="text"/> m.ln. 7- VOIRIE oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Trottoir: <input type="checkbox"/> 0, 1 ou 2 côtés Longueur si différente de 2-e) <input type="text"/> Bordure: <input type="checkbox"/> 0, 1 ou 2 côtés Longueur si différente de 2-e) <input type="text"/> îlot: oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Longueur si différente de 2-e) <input type="text"/> Structure de rue (% sup. totale): MG-112, MG-20: <input type="text"/> % MG-132, MG-20 & pavage: <input type="text"/> % MG-20 & pavage: <input type="text"/> % Pavage: <input type="text"/> % 8- ÉCLAIRAGE DE RUE oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Lampadaire standard Potence: simple <input type="checkbox"/> double <input type="checkbox"/> Lampadaire décoratif Potence: simple <input type="checkbox"/> double <input type="checkbox"/> 9- FEUX DE CIRCULATION oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> Nombre d'intersections avec feux: <input type="text"/> Feux piéton: oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/>	
Coûts estimés (taxes incluses) Eau potable: 0\$ Égout sanitaire/unitaire: 0\$ Égout pluvial: 0\$ Voirie: 0\$ Éclairage de rue: 0\$ Feux de circulation: 0\$ Services tech. & imprévus: 0\$ Financement (5%): 0\$ Total de l'estimé préliminaire: entre 0\$ et 0\$			

EAU POTABLE 0\$ Coût des conduites: 0\$ Longueur de conduites (m): 0 Alimentation temporaire (m.l.): 0\$ Poteau d'incendie: 0\$ Vannes: 0\$ Branchement: 0\$ Raccordement: 0\$		Diamètre: 150 200 250 300 350 400 450 Longueur de conduites (m): 0 0 0 0 0 0 0 Alimentation temporaire (m.l.): 0 0 0 0 0 0 0 Poteau d'incendie: 0 0 0 0 0 0 0 Vannes: 0 0 0 0 0 0 0 Branchement: 0 0 0 0 0 0 0 Raccordement: 0 0 0 0 0 0 0	
ÉGOUT SANITAIRE/UNITAIRE 0\$ Coût des conduites: 0\$ Longueur de conduites (m): 0 Profondeur moyenne si > 3,750 (m): 3,8 Regard 900: 0\$ Branchements: 0\$ Contrôle de la nappe phréatique: 0\$ Station de pompage: 0\$		Diamètre: 200 250 300 375 450 525 600 Longueur de conduites (m): 0 0 0 0 0 0 0 Profondeur moyenne si > 3,750 (m): 3,8 3,8 3,8 3,8 3,8 3,8 3,8 Regard 900: 0 0 0 0 0 0 0 Branchements: 0 0 0 0 0 0 0 Contrôle de la nappe phréatique: 0 0 0 0 0 0 0 Station de pompage: 0 0 0 0 0 0 0	
CONDUITE DE REFOULEMENT 0\$ Coût des conduites: 0\$ Longueur de conduites (m): 0 Profondeur moyenne si > 3,750 (m): 3,8 Regard 900: 0\$ Branchements: 0\$ Contrôle de la nappe phréatique: 0\$ Station de pompage: 0\$		Diamètre: 75 150 250 Longueur de conduites (m): 0 0 0 Profondeur moyenne si > 3,750 (m): 3,8 3,8 3,8 Regard 900: 0 0 0 Branchements: 0 0 0 Contrôle de la nappe phréatique: 0 0 0 Station de pompage: 0 0 0	
ÉGOUT PLUVIAL 0\$ Coût des conduites: 0\$ Longueur de conduites (m): 0 Profondeur moyenne si > 3,750 (m): 3,8 Regard 900: 0\$ Branchements: 0\$ Contrôle de la nappe phréatique: 0\$ Station de pompage: 0\$		Diamètre: 300 375 450 525 600 750 900 Longueur de conduites (m): 0 0 0 0 0 0 0 Profondeur moyenne si > 3,750 (m): 3,8 3,8 3,8 3,8 3,8 3,8 3,8 Regard 900: 0 0 0 0 0 0 0 Branchements: 0 0 0 0 0 0 0 Contrôle de la nappe phréatique: 0 0 0 0 0 0 0 Station de pompage: 0 0 0 0 0 0 0	
VOIRIE 0\$ Coût des conduites: 0\$ Longueur de conduites (m): 0 Profondeur moyenne si > 3,750 (m): 3,8 Regard 900: 0\$ Branchements: 0\$ Contrôle de la nappe phréatique: 0\$ Station de pompage: 0\$		Type: 112-20 0\$ 112-30-Par 0\$ Trottoir: 0\$ 0\$ Bordure: 0\$ 0\$ îlot: 0\$ 0\$ Pavage: 0\$ 0\$ MG-20: 0\$ 0\$ MG-112: 0\$ 0\$	
ÉCLAIRAGE DE RUE 0\$ Lampadaire standard + une potence (40 m.l.) Potence: simple double Lampadaire décoratif Potence: simple double Point d'alimentation: 0\$ Démantèlement d'éclairage existant (unité): 0\$		FEUX DE CIRCULATION 0\$ Nombre d'intersections Sans terre-plein: 0\$ Feux piéton: 0\$ Démantèlement: 0\$	

ANNEXE II

Cartographie

Processus de création et d'approbation d'une soumission dans une municipalité.



ANNEXE III

Plan d'expérience

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Projet	No projet	m lin.	log m. lin.	ELEV	z_profon_nappeeau	log nappe ph	baril moy	Résidentiel/Commercial (binaire)
6000-13-034C	1	870	2,939519253	21,2	11,3	1,053078443	63,01833333	1
6000-13-067A	2	940	2,973127854	73,3	10	1	109,33	1
6000-12-160C	3	820	2,913813852	0	3	0,477121255	0	1
6000-14-029A	4	585	2,767155866	0	6	0,77815125	64,04	0
6000-13-005Z	5	150	2,176091259	11,3	0	0	63,01833333	1
2012-00-012-02	6	2650	3,423245874	52,3	5	0,698970004	63,15	1
6000-12-065Z	7	1400	3,146128036	10	0	0	108,972	0
6000-13-040A	8	125	2,096910013	40,8	2	0,301029996	109,5	0
6000-12-025A	9	1600	3,204119983	0	8	0,903089987	108,52	0
6000-12-031Z	10	580	2,763427994	59,5	7	0,84509804	92,93	1
6000-14-007A	11	430	2,633468456	0	24	1,380211242	54,85	0
6000-14-063A	12	85	1,929418926	7,9	6	0,77815125	46,77333333	0
6000-14-078A	13	30	1,477121255	36,1	8	0,903089987	43,58333333	1

10	11	12	13	14	15	16	17
réf/const	hiv/été (binaire)	drainage	densité	cours d eau	tqm	EXIGENCES GÉNÉRALES	Organisation
1	0	0	1	0	0	100362,8	
0	1	1	0	1	0	36196	173639
0	0	1	0	1	0	217990,4	87135
0	1	0	1	0	0	0	48309
1	0	1	0	0	0	82900	
0	0	0	1	1	1	13542	134025
1	1	1	1	1	0	50096,73	
0	1	0	0	0	0	25231,4	
0	0	0	1	0	0	38950,566	8560
0	1	1	1	1	1	45181,3	
0	1	1	0	1	0	0	4030
0	0	1	0	1	0	2547,6	
0	0	0	1	1	0	12964,1	

18	19	20	21	22	23	24
total Ex Génér + Org	bin POTABLE	bin PLUVIAL	bin sanitaire	bin unitaire	bin VOIRIE	bin ÉCLAIRAGE DE RUE
100362,8	1	0	0	1	1	0
209835	1	1	1	0	1	1
305125,4	1	1	1	0	1	0
48309	1	1	1	0	1	0
82900	1	1	0	0	1	1
147567	1	0	0	0	1	0
50096,73	1	1	0	0	1	0
25231,4	1	1	1	0	1	0
47510,566	1	0	0	0	1	0
45181,3	1	1	1	0	1	1
4030	1	1	1	0	1	1
2547,6	1	1	1	0	1	0
12964,1	0	1	0	0	1	0

25	26	27	28	29	30
Feux de circulation (binaire)	bin Terrassement	bin Changement	Bassin (binaire)	total excluant Terrassement et changement	log total 3
0	0	0	0	1634552	6,213398741
1	0	0	0	1207300	6,081815201
0	1	0	1	2602579,6	6,415404021
0	0	0	0	886855	5,947852619
1	0	0	0	445809	5,649148832
0	1	1	0	1936803,88	6,287085646
0	0	0	0	994762,36	5,997719344
1	1	1	0	203943,25	5,309509336
0	0	1	0	395862,873	5,597544772
1	0	0	1	1909569,1	6,280935378
0	0	0	0	748813,2	5,874373491
0	1	0	0	178422,7	5,251450107
1	0	0	0	413987	5,616986704

31	32	33	34	35	36	
Terrassement	total excluant	Changement	Log ex changement	Changement	Grand total	Log Grand total
0	1634552	6,213398741		0	1634552	6,213398741
0	1207300	6,081815201		0	1207300	6,081815201
454463,3	3057042,9	6,485301533		0	3057042,9	6,485301533
0	886855	5,947852619		0	886855	5,947852619
0	445809	5,649148832		0	445809	5,649148832
65125	2001928,88	6,301448645	36365,85882	2038294,739	6,309266983	
0	994762,36	5,997719344		0	994762,36	5,997719344
3675	207618,25	5,317265526	4959,5	212577,75	5,327517806	
0	395862,873	5,597544772	1480	397342,873	5,599165428	
0	1909569,1	6,280935378		0	1909569,1	6,280935378
0	748813,2	5,874373491		0	748813,2	5,874373491
12105	190527,7	5,279958125		0	190527,7	5,279958125
0	413987	5,616986704		0	413987	5,616986704

ANNEXE IV

Résultats des tests sur facteurs

General Regression Analysis: total exclu versus m lin.; hiv/été; res/com; ...

Regression Equation

total excluuant suivant3 = 212264 + 187,802 m lin. + 559730 hiv/été +
1,16758e+006 res/com - 897306 bin FEUX DE
CIRCULATION + 913553 bin Bassin

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	212264	110848	1,91491	0,097
m lin.	188	83	2,27141	0,057
hiv/été	559730	120245	4,65492	0,002
res/com	1167584	153671	7,59794	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-897306	150129	-5,97690	0,001
bin Bassin	913553	149478	6,11164	0,000

Summary of Model

S = 165593 R-Sq = 97,29% R-Sq(adj) = 95,36%
PRESS = 897494363510 R-Sq(pred) = 87,35%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Regression	5	6,90294E+12	6,90294E+12	1,38059E+12	50,3476
m lin.	1	1,54848E+12	1,41474E+11	1,41474E+11	5,1593
hiv/été	1	1,25290E+08	5,94168E+11	5,94168E+11	21,6683
res/com	1	2,47472E+12	1,58299E+12	1,58299E+12	57,7288
bin FEUX DE CIRCULATION	1	1,85538E+12	9,79573E+11	9,79573E+11	35,7233
bin Bassin	1	1,02424E+12	1,02424E+12	1,02424E+12	37,3521
Error	7	1,91948E+11	1,91948E+11	2,74211E+10	
Total	12	7,09489E+12			

Source	P
Regression	0,0000245
m lin.	0,0573582
hiv/été	0,0023284
res/com	0,0001265
bin FEUX DE CIRCULATION	0,0005549
bin Bassin	0,0004855
Error	
Total	

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	total excluuant suivant3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
8	203943	-101837	111826	305780	2,50370	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Regression Analysis: total exclua versus m lin.; hiv/été; res/com; ...

Regression Equation

total excluant suivant3 = 192828 + 165,012 m lin. + 659436 hiv/été +
1,25776e+006 res/com - 873105 bin FEUX DE
CIRCULATION + 901877 bin Bassin - 210121 bin
ÉCLAIRAGE DE RUE

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	192828	95804	2,01274	0,091
m lin.	165	72	2,28935	0,062
hiv/été	659436	116306	5,66984	0,001
res/com	1257756	140591	8,94619	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-873105	129635	-6,73509	0,001
bin Bassin	901877	128578	7,01426	0,000
bin ÉCLAIRAGE DE RUE	-210121	112587	-1,86630	0,111

Summary of Model

S = 142271 R-Sq = 98,29% R-Sq(adj) = 96,58%
PRESS = 728634114149 R-Sq(pred) = 89,73%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Regression	6	6,97344E+12	6,97344E+12	1,16224E+12	57,4198
m lin.	1	1,54848E+12	1,06086E+11	1,06086E+11	5,2411
hiv/été	1	1,25290E+08	6,50693E+11	6,50693E+11	32,1471
res/com	1	2,47472E+12	1,61999E+12	1,61999E+12	80,0344
bin FEUX DE CIRCULATION	1	1,85538E+12	9,18165E+11	9,18165E+11	45,3614
bin Bassin	1	1,02424E+12	9,95860E+11	9,95860E+11	49,1998
bin ÉCLAIRAGE DE RUE	1	7,05010E+10	7,05010E+10	7,05010E+10	3,4831
Error	6	1,21447E+11	1,21447E+11	2,02411E+10	
Total	12	7,09489E+12			

Source	P
Regression	0,000049
m lin.	0,062000
hiv/été	0,001295
res/com	0,000109
bin FEUX DE CIRCULATION	0,000522
bin Bassin	0,000419
bin ÉCLAIRAGE DE RUE	0,111249
Error	
Total	

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

total

	excluant					
Obs	suivant3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
8	203943	-214,231	110434	204157	2,27609	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Regression Analysis: total exclua versus m lin.; hiv/été; res/com; ...

Regression Equation

total excluant suivant3 = 214009 + 186,859 m lin. + 560482 hiv/été +
1,17082e+006 res/com - 899595 bin FEUX DE
CIRCULATION + 909999 bin Bassin - 7210,71 réf/const

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	214009	123739	1,72953	0,134
m lin.	187	91	2,05625	0,085
hiv/été	560482	130546	4,29336	0,005
res/com	1170820	175830	6,65882	0,001
bin FEUX DE CIRCULATION	-899595	167249	-5,37876	0,002
bin Bassin	909999	173578	5,24259	0,002
réfection/construction	-7211	129536	-0,05567	0,957

Summary of Model

S = 178815 R-Sq = 97,30% R-Sq(adj) = 94,59%
PRESS = 960553375848 R-Sq(pred) = 86,46%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Regression	6	6,90304E+12	6,90304E+12	1,15051E+12	35,9817
m lin.	1	1,54848E+12	1,35194E+11	1,35194E+11	4,2282
hiv/été	1	1,25290E+08	5,89389E+11	5,89389E+11	18,4329
res/com	1	2,47472E+12	1,41776E+12	1,41776E+12	44,3399
bin FEUX DE CIRCULATION	1	1,85538E+12	9,25065E+11	9,25065E+11	28,9311
bin Bassin	1	1,02424E+12	8,78818E+11	8,78818E+11	27,4847
réf/const	1	9,90788E+07	9,90788E+07	9,90788E+07	0,0031
Error	6	1,91849E+11	1,91849E+11	3,19748E+10	
Total	12	7,09489E+12			

Source	P
Regression	0,000190
m lin.	0,085499
hiv/été	0,005130
res/com	0,000555
bin FEUX DE CIRCULATION	0,001698
bin Bassin	0,001934
réf/const	0,957416
Error	
Total	

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

```

total
excluant
Obs   suivant3      Fit  SE Fit  Residual  St Resid
  8    203943  -101746  120766    305689    2,31806  R

```

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Regression Analysis: total exclua versus m lin.; hiv/été; res/com; ...

Regression Equation

```

total excluant suivant3 = 100477 + 157,86 m lin. + 659470 hiv/été +
                          1,26692e+006 res/com - 936389 bin FEUX DE
                          CIRCULATION + 807294 bin Bassin + 218673 bin
                          Terrassement

```

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	100477	91955	1,0927	0,316
m lin.	158	62	2,5506	0,043
hiv/été	659470	96248	6,8518	0,000
res/com	1266924	119203	10,6283	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-936389	111458	-8,4012	0,000
bin Bassin	807294	117159	6,8906	0,000
bin Terrassement	218673	83071	2,6324	0,039

Summary of Model

S = 121844 R-Sq = 98,74% R-Sq(adj) = 97,49%
 PRESS = 783728106021 R-Sq(pred) = 88,95%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Regression	6	7,00581E+12	7,00581E+12	1,16764E+12	78,650
m lin.	1	1,54848E+12	9,65821E+10	9,65821E+10	6,506
hiv/été	1	1,25290E+08	6,96966E+11	6,96966E+11	46,947
res/com	1	2,47472E+12	1,67701E+12	1,67701E+12	112,961
bin FEUX DE CIRCULATION	1	1,85538E+12	1,04784E+12	1,04784E+12	70,581
bin Bassin	1	1,02424E+12	7,04880E+11	7,04880E+11	47,480
bin Terrassement	1	1,02872E+11	1,02872E+11	1,02872E+11	6,929
Error	6	8,90754E+10	8,90754E+10	1,48459E+10	
Total	12	7,09489E+12			

Source	P
Regression	0,0000194
m lin.	0,0434545
hiv/été	0,0004755
res/com	0,0000409
bin FEUX DE CIRCULATION	0,0001549
bin Bassin	0,0004612

bin Terrassement 0,0389361
 Error
 Total

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

	total					
	excluant					
Obs	suisvant3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
8	203943	61963,9	103162	141979	2,18985	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Regression Analysis: total exclua versus m lin.; hiv/été; res/com; ...

Regression Equation

total excluant suisvant3 = 256824 + 197,964 m lin. + 567653 hiv/été +
 1,16695e+006 res/com - 913759 bin FEUX DE
 CIRCULATION + 900162 bin Bassin - 834,71 densité
 continue

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	256824	184467	1,39226	0,213
m lin.	198	94	2,10060	0,080
hiv/été	567653	131236	4,32543	0,005
res/com	1166955	164634	7,08816	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-913759	169063	-5,40484	0,002
bin Bassin	900162	165654	5,43399	0,002
densité continue	-835	2644	-0,31567	0,763

Summary of Model

S = 177394 R-Sq = 97,34% R-Sq(adj) = 94,68%
 PRESS = 1,666155E+12 R-Sq(pred) = 76,52%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Regression	6	6,90608E+12	6,90608E+12	1,15101E+12	36,5765
m lin.	1	1,54848E+12	1,38856E+11	1,38856E+11	4,4125
hiv/été	1	1,25290E+08	5,88757E+11	5,88757E+11	18,7093
res/com	1	2,47472E+12	1,58105E+12	1,58105E+12	50,2420
bin FEUX DE CIRCULATION	1	1,85538E+12	9,19273E+11	9,19273E+11	29,2123
bin Bassin	1	1,02424E+12	9,29216E+11	9,29216E+11	29,5283
densité continue	1	3,13576E+09	3,13576E+09	3,13576E+09	0,0996
Error	6	1,88812E+11	1,88812E+11	3,14687E+10	
Total	12	7,09489E+12			

Source	P
Regression	0,000181
m lin.	0,080411

hiv/été	0,004953
res/com	0,000396
bin FEUX DE CIRCULATION	0,001656
bin Bassin	0,001611
densité continue	0,762945
Error	
Total	

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

	total excluant					
Obs	suiwant3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
8	203943	-106272	120616	310215	2,38483	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

General Regression Analysis: total exclua versus m lin.; hiv/été; res/com; ...

Regression Equation

total excluant suiwant3 = 267400 + 163,613 m lin. + 594193 hiv/été +
1,18895e+006 res/com - 923203 bin FEUX DE
CIRCULATION + 963224 bin Bassin - 113525 drainage

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	267400	121268	2,20503	0,070
m lin.	164	85	1,92648	0,102
hiv/été	594193	123338	4,81761	0,003
res/com	1188951	153447	7,74827	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-923203	150595	-6,13037	0,001
bin Bassin	963224	155117	6,20968	0,001
drainage	-113525	106245	-1,06851	0,326

Summary of Model

S = 163942 R-Sq = 97,73% R-Sq(adj) = 95,45%
PRESS = 983198776858 R-Sq(pred) = 86,14%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Regression	6	6,93363E+12	6,93363E+12	1,15560E+12	42,9961
m lin.	1	1,54848E+12	9,97488E+10	9,97488E+10	3,7113
hiv/été	1	1,25290E+08	6,23799E+11	6,23799E+11	23,2094
res/com	1	2,47472E+12	1,61358E+12	1,61358E+12	60,0357
bin FEUX DE CIRCULATION	1	1,85538E+12	1,01007E+12	1,01007E+12	37,5814
bin Bassin	1	1,02424E+12	1,03638E+12	1,03638E+12	38,5601
drainage	1	3,06860E+10	3,06860E+10	3,06860E+10	1,1417
Error	6	1,61262E+11	1,61262E+11	2,68770E+10	
Total	12	7,09489E+12			

Source	P
Regression	0,000113
m lin.	0,102343
hiv/été	0,002947
res/com	0,000243
bin FEUX DE CIRCULATION	0,000861
bin Bassin	0,000805
drainage	0,326381
Error	
Total	

ANNEXE V

Plan d'expérience simplifié

No projet	m lin.	log m. lin.	Résidentiel/Commercial (binaire)	hiv/été (binaire)	Feux de circulation (binaire)	Bassin (binaire)	Total excluant Terassement et changement	log total 3
1	870	2,939519253	1	0	0	0	1 634 552 \$	6,213398741
2	940	2,973127854	1	1	1	0	1 207 300 \$	6,081815201
3	820	2,913813852	1	0	0	1	2 602 580 \$	6,415404021
4	585	2,767155866	0	1	0	0	886 855 \$	5,947852619
5	150	2,176091259	1	0	1	0	445 809 \$	5,649148832
6	2650	3,423245874	1	0	0	0	1 936 804 \$	6,287085646
7	1400	3,146128036	0	1	0	0	994 762 \$	5,997719344
8	125	2,096910013	0	1	1	0	203 943 \$	5,309509336
9	1600	3,204119983	0	0	0	0	395 863 \$	5,597544772
10	580	2,763427994	1	1	1	1	1 909 569 \$	6,280935378
11	430	2,633468456	0	1	0	0	748 813 \$	5,874373491
12	85	1,929418926	0	0	0	0	178 423 \$	5,251450107
13	30	1,477121255	1	0	1	0	413 987 \$	5,616986704

ANNEXE VI

Test du Jackknife sur 12 projets avec formule générale

Exclusion 1er

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,08714 + 0,148542 log m. lin. + 0,710714 res/com - 0,482606
 bin FEUX DE CIRCULATION + 0,170635 bin Bassin + 0,398665
 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,08714	0,144594	35,1823	0,000
log m. lin.	0,14854	0,057902	2,5654	0,043
res/com	0,71071	0,081965	8,6709	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,48261	0,085197	-5,6646	0,001
bin Bassin	0,17063	0,069565	2,4529	0,050
hiv/été	0,39867	0,064684	6,1632	0,001

Summary of Model

S = 0,0751231 R-Sq = 97,87% R-Sq(adj) = 96,10%
 PRESS = 0,145982 R-Sq(pred) = 90,82%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,55606	1,55606	0,311211	55,1452	0,0000619
log m. lin.	1	0,72812	0,03714	0,037141	6,5812	0,0425988
res/com	1	0,47010	0,42431	0,424306	75,1851	0,0001298
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,03492	0,18109	0,181085	32,0875	0,0013015
bin Bassin	1	0,10855	0,03395	0,033954	6,0166	0,0495971
hiv/été	1	0,21437	0,21437	0,214371	37,9856	0,0008374
Error	6	0,03386	0,03386	0,005643		
Total	11	1,58992				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	log total 3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	R
11	5,25145	5,37374	0,0512730	-0,122286	-2,22723	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Exclusion 2e**General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...**

Regression Equation

log total 3 = 5,0026 + 0,17228 log m. lin. + 0,733359 res/com - 0,451381 bin
FEUX DE CIRCULATION + 0,136847 bin Bassin + 0,424036 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,00260	0,131596	38,0147	0,000
log m. lin.	0,17228	0,050556	3,4077	0,014
res/com	0,73336	0,065119	11,2619	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,45138	0,068578	-6,5820	0,001
bin Bassin	0,13685	0,060876	2,2480	0,066
hiv/été	0,42404	0,056926	7,4489	0,000

Summary of Model

S = 0,0635390 R-Sq = 98,54% R-Sq(adj) = 97,33%
PRESS = 0,158499 R-Sq(pred) = 90,48%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,64016	1,64016	0,328032	81,252	0,0000199
log m. lin.	1	0,76303	0,04688	0,046882	11,612	0,0143591
res/com	1	0,53029	0,51204	0,512040	126,830	0,0000293
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,01570	0,17490	0,174902	43,322	0,0005903
bin Bassin	1	0,10713	0,02040	0,020402	5,053	0,0656232
hiv/été	1	0,22401	0,22401	0,224011	55,487	0,0003017
Error	6	0,02422	0,02422	0,004037		
Total	11	1,66439				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	log total 3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
11	5,25145	5,33500	0,0494409	-0,0835484	-2,09343	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Exclusion 3e**General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...**

Regression Equation

log total 3 = 5,07084 + 0,153233 log m. lin. + 0,700391 res/com - 0,466192
bin FEUX DE CIRCULATION + 0,151944 bin Bassin + 0,400506

hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,07084	0,146018	34,7276	0,000
log m. lin.	0,15323	0,057592	2,6607	0,037
res/com	0,70039	0,073101	9,5812	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,46619	0,082385	-5,6587	0,001
bin Bassin	0,15194	0,091847	1,6543	0,149
hiv/été	0,40051	0,064467	6,2125	0,001

Summary of Model

S = 0,0745995 R-Sq = 97,62% R-Sq(adj) = 95,64%
 PRESS = * R-Sq(pred) = *%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,36920	1,36920	0,273840	49,2068	0,000086
log m. lin.	1	0,68311	0,03940	0,039396	7,0791	0,037491
res/com	1	0,38931	0,51087	0,510866	91,7985	0,000074
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,00839	0,17820	0,178198	32,0208	0,001309
bin Bassin	1	0,07360	0,01523	0,015230	2,7367	0,149148
hiv/été	1	0,21479	0,21479	0,214788	38,5956	0,000803
Error	6	0,03339	0,03339	0,005565		
Total	11	1,40259				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	log total 3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
9	6,28094	6,28094	0,0745995	0,000000	*	X
11	5,25145	5,36649	0,0534482	-0,115039	-2,21050	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

X denotes an observation whose X value gives it large leverage.

Exclusion 4e**General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...**

Regression Equation

log total 3 = 5,05336 + 0,160813 log m. lin. + 0,695071 res/com - 0,452406
 bin FEUX DE CIRCULATION + 0,182118 bin Bassin + 0,374668
 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,05336	0,139425	36,2443	0,000
log m. lin.	0,16081	0,055532	2,8959	0,027

res/com	0,69507	0,069823	9,9548	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,45241	0,079051	-5,7230	0,001
bin Bassin	0,18212	0,062483	2,9147	0,027
hiv/été	0,37467	0,065399	5,7290	0,001

Summary of Model

S = 0,0709545 R-Sq = 98,22% R-Sq(adj) = 96,75%
 PRESS = 0,128074 R-Sq(pred) = 92,47%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,67146	1,67146	0,334291	66,3996	0,0000360
log m. lin.	1	0,79781	0,04222	0,042220	8,3861	0,0274819
res/com	1	0,57234	0,49891	0,498908	99,0972	0,0000594
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,02523	0,16489	0,164892	32,7522	0,0012342
bin Bassin	1	0,11084	0,04277	0,042770	8,4954	0,0268162
hiv/été	1	0,16524	0,16524	0,165239	32,8211	0,0012275
Error	6	0,03021	0,03021	0,005035		
Total	11	1,70166				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	log total 3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	R
11	5,25145	5,36364	0,0493144	-0,112189	-2,19909	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Exclusion 5e

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,08405 + 0,149031 log m. lin. + 0,70334 res/com - 0,481412 bin
 FEUX DE CIRCULATION + 0,177909 bin Bassin + 0,401062 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,08405	0,143571	35,4114	0,000
log m. lin.	0,14903	0,057764	2,5800	0,042
res/com	0,70334	0,073564	9,5609	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,48141	0,084396	-5,7042	0,001
bin Bassin	0,17791	0,066607	2,6710	0,037
hiv/été	0,40106	0,067716	5,9227	0,001

Summary of Model

S = 0,0751825 R-Sq = 97,94% R-Sq(adj) = 96,22%
 PRESS = 0,194241 R-Sq(pred) = 88,19%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,61086	1,61086	0,322172	56,9973	0,0000562
log m. lin.	1	0,74139	0,03763	0,037625	6,6565	0,0417686
res/com	1	0,56756	0,51669	0,516690	91,4105	0,0000748
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,01988	0,18392	0,183920	32,5383	0,0012554
bin Bassin	1	0,08375	0,04033	0,040326	7,1343	0,0369765
hiv/été	1	0,19828	0,19828	0,198278	35,0785	0,0010323
Error	6	0,03391	0,03391	0,005652		
Total	11	1,64477				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	log total 3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
11	5,25145	5,37160	0,0514047	-0,120147	-2,18994	R
12	5,61699	5,52612	0,0621331	0,090868	2,14662	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Exclusion 6e**General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...**

Regression Equation

$$\text{log total 3} = 5,0728 + 0,154582 \text{ log m. lin.} + 0,706608 \text{ res/com} - 0,476611 \text{ bin FEUX DE CIRCULATION} + 0,170845 \text{ bin Bassin} + 0,394851 \text{ hiv/été}$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,07280	0,150575	33,6895	0,000
log m. lin.	0,15458	0,060783	2,5432	0,044
res/com	0,70661	0,075779	9,3246	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,47661	0,079226	-6,0158	0,001
bin Bassin	0,17084	0,069493	2,4584	0,049
hiv/été	0,39485	0,064589	6,1132	0,001

Summary of Model

S = 0,0751413 R-Sq = 97,79% R-Sq(adj) = 95,95%
 PRESS = 0,152383 R-Sq(pred) = 90,05%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,49795	1,49795	0,299590	53,0603	0,0000692
log m. lin.	1	0,63092	0,03652	0,036519	6,4678	0,0438914
res/com	1	0,53142	0,49093	0,490929	86,9482	0,0000862
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,04544	0,20434	0,204337	36,1901	0,0009513
bin Bassin	1	0,07916	0,03413	0,034125	6,0439	0,0492236
hiv/été	1	0,21101	0,21101	0,211009	37,3717	0,0008742

Error	6	0,03388	0,03388	0,005646
Total	11	1,53183		

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	log total 3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
11	5,25145	5,37105	0,0516443	-0,119601	-2,19125 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Exclusion 7e

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,0911 + 0,145218 log m. lin. + 0,706015 res/com - 0,47015 bin
FEUX DE CIRCULATION + 0,180389 bin Bassin + 0,387033 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,09110	0,138233	36,8298	0,000
log m. lin.	0,14522	0,055604	2,6117	0,040
res/com	0,70602	0,070706	9,9852	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,47015	0,076299	-6,1619	0,001
bin Bassin	0,18039	0,063478	2,8418	0,029
hiv/été	0,38703	0,062925	6,1507	0,001

Summary of Model

S = 0,0722132 R-Sq = 98,15% R-Sq(adj) = 96,61%
PRESS = 0,146371 R-Sq(pred) = 91,35%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,66104	1,66104	0,332208	63,7056	0,0000406
log m. lin.	1	0,80380	0,03557	0,035569	6,8208	0,0400310
res/com	1	0,51117	0,51994	0,519935	99,7049	0,0000584
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,03528	0,19800	0,197999	37,9690	0,0008384
bin Bassin	1	0,11350	0,04211	0,042112	8,0756	0,0294985
hiv/été	1	0,19728	0,19728	0,197281	37,8315	0,0008465
Error	6	0,03129	0,03129	0,005215		
Total	11	1,69233				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	log total 3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
11	5,25145	5,37129	0,0491294	-0,119840	-2,26435 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Exclusion 8e**General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...**

Regression Equation

log total 3 = 5,08282 + 0,151216 log m. lin. + 0,696023 res/com - 0,468437
 bin FEUX DE CIRCULATION + 0,176608 bin Bassin + 0,395395
 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,08282	0,143589	35,3983	0,000
log m. lin.	0,15122	0,057803	2,6161	0,040
res/com	0,69602	0,082680	8,4183	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,46844	0,089111	-5,2568	0,002
bin Bassin	0,17661	0,066014	2,6753	0,037
hiv/été	0,39540	0,064577	6,1229	0,001

Summary of Model

S = 0,0752562 R-Sq = 97,47% R-Sq(adj) = 95,37%
 PRESS = 0,158716 R-Sq(pred) = 88,20%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,31123	1,31123	0,262247	46,3048	0,0001028
log m. lin.	1	0,56650	0,03876	0,038760	6,8438	0,0397951
res/com	1	0,40491	0,40136	0,401357	70,8674	0,0001532
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,01650	0,15650	0,156503	27,6336	0,0019073
bin Bassin	1	0,11100	0,04054	0,040536	7,1574	0,0367646
hiv/été	1	0,21232	0,21232	0,212322	37,4895	0,0008670
Error	6	0,03398	0,03398	0,005663		
Total	11	1,34522				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	log total 3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
11	5,25145	5,37457	0,0523065	-0,123124	-2,27559	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Exclusion 9e**General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...**

Regression Equation

log total 3 = 5,18921 + 0,0861604 log m. lin. + 0,791553 res/com - 0,549964
 bin FEUX DE CIRCULATION + 0,160124 bin Bassin + 0,475384
 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,18921	0,175381	29,5883	0,000
log m. lin.	0,08616	0,086657	0,9943	0,358
res/com	0,79155	0,116813	6,7762	0,001
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,54996	0,108295	-5,0784	0,002
bin Bassin	0,16012	0,063781	2,5105	0,046
hiv/été	0,47538	0,102830	4,6230	0,004

Summary of Model

S = 0,0704009 R-Sq = 98,16% R-Sq(adj) = 96,62%
 PRESS = 0,142241 R-Sq(pred) = 91,19%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,58562	1,58562	0,317125	63,9843	0,000040
log m. lin.	1	1,05923	0,00490	0,004900	0,9886	0,358484
res/com	1	0,30136	0,22758	0,227580	45,9174	0,000505
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,02137	0,12782	0,127822	25,7899	0,002269
bin Bassin	1	0,09774	0,03124	0,031238	6,3027	0,045871
hiv/été	1	0,10593	0,10593	0,105928	21,3724	0,003604
Error	6	0,02974	0,02974	0,004956		
Total	11	1,61536				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	log total 3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
11	5,25145	5,35545	0,0512410	-0,103996	-2,15415	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Exclusion 10^e**General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...**

Regression Equation

log total 3 = 5,07084 + 0,153233 log m. lin. + 0,700391 res/com - 0,466192
 bin FEUX DE CIRCULATION + 0,197683 bin Bassin + 0,400506
 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,07084	0,146018	34,7276	0,000
log m. lin.	0,15323	0,057592	2,6607	0,037
res/com	0,70039	0,073101	9,5812	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,46619	0,082385	-5,6587	0,001
bin Bassin	0,19768	0,088265	2,2396	0,066

hiv/été 0,40051 0,064467 6,2125 0,001

Summary of Model

S = 0,0745995 R-Sq = 97,83% R-Sq(adj) = 96,02%
PRESS = * R-Sq(pred) = *%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,50374	1,50374	0,300747	54,0418	0,0000656
log m. lin.	1	0,76084	0,03940	0,039396	7,0791	0,0374912
res/com	1	0,41436	0,51087	0,510866	91,7985	0,0000739
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,07250	0,17820	0,178198	32,0208	0,0013085
bin Bassin	1	0,04125	0,02791	0,027914	5,0160	0,0663797
hiv/été	1	0,21479	0,21479	0,214788	38,5956	0,0008029
Error	6	0,03339	0,03339	0,005565		
Total	11	1,53713				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	log total 3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
3	6,41540	6,41540	0,0745995	-0,000000	*	X
11	5,25145	5,36649	0,0534482	-0,115039	-2,21050	R

R denotes an observation with a large standardized residual.
X denotes an observation whose X value gives it large leverage.

Exclusion 11e

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,08351 + 0,149982 log m. lin. + 0,702672 res/com - 0,475878
bin FEUX DE CIRCULATION + 0,175671 bin Bassin + 0,397028
hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,08351	0,153735	33,0667	0,000
log m. lin.	0,14998	0,061176	2,4516	0,050
res/com	0,70267	0,075082	9,3587	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,47588	0,087153	-5,4602	0,002
bin Bassin	0,17567	0,066509	2,6413	0,038
hiv/été	0,39703	0,071833	5,5271	0,001

Summary of Model

S = 0,0754388 R-Sq = 98,00% R-Sq(adj) = 96,33%
PRESS = 0,154358 R-Sq(pred) = 90,95%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,67145	1,67145	0,334290	58,7401	0,0000515
log m. lin.	1	0,80170	0,03421	0,034206	6,0105	0,0496799
res/com	1	0,56464	0,49845	0,498447	87,5851	0,0000844
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,02221	0,16967	0,169673	29,8142	0,0015722
bin Bassin	1	0,10905	0,03970	0,039704	6,9766	0,0384721
hiv/été	1	0,17385	0,17385	0,173853	30,5488	0,0014771
Error	6	0,03415	0,03415	0,005691		
Total	11	1,70560				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	log total 3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
11	5,25145	5,37289	0,0533058	-0,121438	-2,27494

R denotes an observation with a large standardized residual.

Exclusion 12e**General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...**

Regression Equation

$$\text{log total 3} = 5,30022 + 0,0915765 \text{ log m. lin.} + 0,66851 \text{ res/com} - 0,51787 \text{ bin FEUX DE CIRCULATION} + 0,19397 \text{ bin Bassin} + 0,368913 \text{ hiv/été}$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,30022	0,0780489	67,9090	0,000
log m. lin.	0,09158	0,0283821	3,2266	0,018
res/com	0,66851	0,0336276	19,8798	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,51787	0,0364735	-14,1985	0,000
bin Bassin	0,19397	0,0296990	6,5312	0,001
hiv/été	0,36891	0,0292715	12,6032	0,000

Summary of Model

S = 0,0336847 R-Sq = 99,46% R-Sq(adj) = 99,02%
 PRESS = 0,0261942 R-Sq(pred) = 97,94%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,26219	1,26219	0,252437	222,479	0,0000010
log m. lin.	1	0,48441	0,01181	0,011813	10,411	0,0179881
res/com	1	0,40714	0,44842	0,448424	395,207	0,0000011
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,06873	0,22874	0,228744	201,598	0,0000076
bin Bassin	1	0,12168	0,04840	0,048400	42,656	0,0006153
hiv/été	1	0,18023	0,18023	0,180229	158,840	0,0000153
Error	6	0,00681	0,00681	0,001135		

Total 11 1,26899

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

No unusual observations

Exclusion 13e

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 4,914 + 0,214475 log m. lin. + 0,65741 res/com - 0,457641 bin
FEUX DE CIRCULATION + 0,200734 bin Bassin + 0,392076 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4,91400	0,128663	38,1929	0,000
log m. lin.	0,21447	0,050697	4,2305	0,005
res/com	0,65741	0,057411	11,4510	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,45764	0,058569	-7,8136	0,000
bin Bassin	0,20073	0,049495	4,0557	0,007
hiv/été	0,39208	0,047094	8,3254	0,000

Summary of Model

S = 0,0551821 R-Sq = 98,88% R-Sq(adj) = 97,94%
PRESS = 0,0851168 R-Sq(pred) = 94,77%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,60885	1,60885	0,321770	105,670	0,0000092
log m. lin.	1	0,84689	0,05450	0,054498	17,897	0,0054971
res/com	1	0,39731	0,39929	0,399286	131,126	0,0000266
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,02809	0,18591	0,185910	61,053	0,0002318
bin Bassin	1	0,12550	0,05009	0,050086	16,448	0,0066832
hiv/été	1	0,21106	0,21106	0,211063	69,313	0,0001630
Error	6	0,01827	0,01827	0,003045		
Total	11	1,62712				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	log total 3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	R
12	5,25145	5,32781	0,0423557	-0,0763574	-2,15880	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

ANNEXE VII

Test du Jackknife sur 12 projets avec formule générale

Forme général sans le #12

Sans log

General Regression Analysis: total exclu versus m lin.; res/com; hiv/été; ...

Regression Equation

total excluuant Terrassement et c = 249760 + 175,883 m lin. + 1,14935e+006
res/com + 539367 hiv/été - 904187 bin FEUX
DE CIRCULATION + 916256 bin Bassin

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	249760	155712	1,60399	0,160
m lin.	176	94	1,87166	0,110
res/com	1149350	171329	6,70846	0,001
hiv/été	539367	139673	3,86163	0,008
bin FEUX DE CIRCULATION	-904187	161403	-5,60203	0,001
bin Bassin	916256	159803	5,73365	0,001

Summary of Model

S = 176848 R-Sq = 97,01% R-Sq(adj) = 94,53%
PRESS = 1,031054E+12 R-Sq(pred) = 83,60%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Regression	5	6,09742E+12	6,09742E+12	1,21948E+12	38,9922
m lin.	1	1,06328E+12	1,09560E+11	1,09560E+11	3,5031
res/com	1	1,81909E+12	1,40748E+12	1,40748E+12	45,0034
hiv/été	1	3,58157E+11	4,66381E+11	4,66381E+11	14,9122
bin FEUX DE CIRCULATION	1	1,82872E+12	9,81498E+11	9,81498E+11	31,3828
bin Bassin	1	1,02816E+12	1,02816E+12	1,02816E+12	32,8748
Error	6	1,87650E+11	1,87650E+11	3,12751E+10	
Total	11	6,28507E+12			

Source	P
Regression	0,000169
m lin.	0,110425
res/com	0,000533
hiv/été	0,008346
bin FEUX DE CIRCULATION	0,001378
bin Bassin	0,001222
Error	
Total	

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	total excluuant Terrassement et c	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	R
8	203943	-93074,6	121743	297018	2,31553	R

R denotes an observation with a large standardized residual.

En log

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,30022 + 0,0915765 log m. lin. + 0,66851 res/com - 0,51787 bin
FEUX DE CIRCULATION + 0,19397 bin Bassin + 0,368913 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,30022	0,0780489	67,9090	0,000
log m. lin.	0,09158	0,0283821	3,2266	0,018
res/com	0,66851	0,0336276	19,8798	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,51787	0,0364735	-14,1985	0,000
bin Bassin	0,19397	0,0296990	6,5312	0,001
hiv/été	0,36891	0,0292715	12,6032	0,000

Summary of Model

S = 0,0336847 R-Sq = 99,46% R-Sq(adj) = 99,02%
PRESS = 0,0261942 R-Sq(pred) = 97,94%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,26219	1,26219	0,252437	222,479	0,0000010
log m. lin.	1	0,48441	0,01181	0,011813	10,411	0,0179881
res/com	1	0,40714	0,44842	0,448424	395,207	0,0000011
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,06873	0,22874	0,228744	201,598	0,0000076
bin Bassin	1	0,12168	0,04840	0,048400	42,656	0,0006153
hiv/été	1	0,18023	0,18023	0,180229	158,840	0,0000153
Error	6	0,00681	0,00681	0,001135		
Total	11	1,26899				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

No unusual observations

Exclue projet 1

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,31137 + 0,0875969 log m. lin. + 0,682949 res/com - 0,531573
bin FEUX DE CIRCULATION + 0,184896 bin Bassin + 0,372179
hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,31137	0,0803344	66,1158	0,000
log m. lin.	0,08760	0,0292003	2,9999	0,030
res/com	0,68295	0,0378019	18,0665	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,53157	0,0401183	-13,2501	0,000
bin Bassin	0,18490	0,0318525	5,8048	0,002
hiv/été	0,37218	0,0299871	12,4113	0,000

Summary of Model

S = 0,0342525 R-Sq = 99,51% R-Sq(adj) = 99,01%
 PRESS = 0,0283060 R-Sq(pred) = 97,62%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,18118	1,18118	0,236235	201,354	0,0000093
log m. lin.	1	0,44085	0,01056	0,010558	8,999	0,0301039
res/com	1	0,36931	0,38294	0,382943	326,400	0,0000095
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,07515	0,20598	0,205980	175,566	0,0000438
bin Bassin	1	0,11514	0,03953	0,039532	33,695	0,0021396
hiv/été	1	0,18072	0,18072	0,180724	154,040	0,0000602
Error	5	0,00587	0,00587	0,001173		
Total	10	1,18704				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

No unusual observations

Exclude projet 2

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,27135 + 0,0994427 log m. lin. + 0,676599 res/com - 0,510596
 bin FEUX DE CIRCULATION + 0,185266 bin Bassin + 0,375946
 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,27135	0,104568	50,4109	0,000
log m. lin.	0,09944	0,034907	2,8488	0,036
res/com	0,67660	0,040121	16,8641	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,51060	0,042194	-12,1012	0,000
bin Bassin	0,18527	0,037040	5,0018	0,004
hiv/été	0,37595	0,034915	10,7674	0,000

Summary of Model

S = 0,0361399 R-Sq = 99,48% R-Sq(adj) = 98,95%
 PRESS = 0,0296656 R-Sq(pred) = 97,62%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,24031	1,24031	0,248062	189,927	0,0000107
log m. lin.	1	0,46418	0,01060	0,010600	8,115	0,0358754
res/com	1	0,42376	0,37145	0,371450	284,398	0,0000134
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,05054	0,19126	0,191262	146,438	0,0000681
bin Bassin	1	0,15041	0,03268	0,032676	25,018	0,0040984
hiv/été	1	0,15142	0,15142	0,151423	115,936	0,0001198
Error	5	0,00653	0,00653	0,001306		
Total	10	1,24684				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

No unusual observations

Exclue projet 3

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,32209 + 0,0859009 log m. lin. + 0,668852 res/com - 0,528657
 bin FEUX DE CIRCULATION + 0,217351 bin Bassin + 0,363917
 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,32209	0,0873298	60,9424	0,000
log m. lin.	0,08590	0,0307478	2,7937	0,038
res/com	0,66885	0,0351508	19,0281	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,52866	0,0411051	-12,8611	0,000
bin Bassin	0,21735	0,0455411	4,7726	0,005
hiv/été	0,36392	0,0314121	11,5853	0,000

Summary of Model

S = 0,0352071 R-Sq = 99,39% R-Sq(adj) = 98,79%
 PRESS = * R-Sq(pred) = *%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,01553	1,01553	0,203106	163,856	0,0000155
log m. lin.	1	0,41220	0,00967	0,009674	7,805	0,0382763
res/com	1	0,29763	0,44880	0,448797	362,068	0,0000074
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,03050	0,20503	0,205029	165,408	0,0000506

bin Bassin	1	0,10883	0,02823	0,028234	22,778	0,0050031
hiv/été	1	0,16637	0,16637	0,166368	134,218	0,0000841
Error	5	0,00620	0,00620	0,001240		
Total	10	1,02173				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	log total 3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
9	6,28094	6,28094	0,0352071	0	*	X

X denotes an observation whose X value gives it large leverage.

Exclue projet 4

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,27733 + 0,0990654 log m. lin. + 0,666067 res/com - 0,504759
 bin FEUX DE CIRCULATION + 0,196464 bin Bassin + 0,358961
 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,27733	0,0833084	63,3469	0,000
log m. lin.	0,09907	0,0300243	3,2995	0,021
res/com	0,66607	0,0342851	19,4273	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,50476	0,0398340	-12,6716	0,000
bin Bassin	0,19646	0,0303116	6,4815	0,001
hiv/été	0,35896	0,0317424	11,3086	0,000

Summary of Model

S = 0,0342353 R-Sq = 99,54% R-Sq(adj) = 99,08%
 PRESS = 0,0262456 R-Sq(pred) = 97,93%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,26305	1,26305	0,252611	215,528	0,0000078
log m. lin.	1	0,48453	0,01276	0,012760	10,887	0,0214871
res/com	1	0,45869	0,44236	0,442357	377,419	0,0000067
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,04942	0,18820	0,188195	160,568	0,0000544
bin Bassin	1	0,12053	0,04924	0,049237	42,009	0,0013035
hiv/été	1	0,14989	0,14989	0,149887	127,883	0,0000945
Error	5	0,00586	0,00586	0,001172		
Total	10	1,26891				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

No unusual observations

Exclue projet 5

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,30028 + 0,09163 log m. lin. + 0,668417 res/com - 0,517418 bin
FEUX DE CIRCULATION + 0,193811 bin Bassin + 0,368535 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,30028	0,0855106	61,9839	0,000
log m. lin.	0,09163	0,0311292	2,9435	0,032
res/com	0,66842	0,0369400	18,0947	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,51742	0,0421955	-12,2624	0,000
bin Bassin	0,19381	0,0328810	5,8943	0,002
hiv/été	0,36853	0,0340214	10,8324	0,000

Summary of Model

S = 0,0368956 R-Sq = 99,42% R-Sq(adj) = 98,84%
PRESS = 0,0477581 R-Sq(pred) = 95,94%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,17034	1,17034	0,234067	171,946	0,0000137
log m. lin.	1	0,40142	0,01179	0,011795	8,664	0,0321247
res/com	1	0,46230	0,44571	0,445708	327,417	0,0000095
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,05324	0,20469	0,204692	150,366	0,0000638
bin Bassin	1	0,09364	0,04730	0,047295	34,743	0,0019987
hiv/été	1	0,15974	0,15974	0,159736	117,342	0,0001164
Error	5	0,00681	0,00681	0,001361		
Total	10	1,17714				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

No unusual observations

Exclue projet 6

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,30537 + 0,0895364 log m. lin. + 0,666699 res/com - 0,517636
bin FEUX DE CIRCULATION + 0,196019 bin Bassin + 0,36947 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,30537	0,0901911	58,8237	0,000
log m. lin.	0,08954	0,0331167	2,7037	0,043
res/com	0,66670	0,0381558	17,4731	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,51764	0,0398554	-12,9878	0,000
bin Bassin	0,19602	0,0344838	5,6844	0,002
hiv/été	0,36947	0,0321257	11,5008	0,000

Summary of Model

S = 0,0367872 R-Sq = 99,40% R-Sq(adj) = 98,81%
PRESS = 0,0295821 R-Sq(pred) = 97,40%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,13029	1,13029	0,226057	167,041	0,0000147
log m. lin.	1	0,35971	0,00989	0,009892	7,310	0,0425975
res/com	1	0,41653	0,41317	0,413174	305,308	0,0000113
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,07868	0,22828	0,228280	168,684	0,0000482
bin Bassin	1	0,09636	0,04373	0,043728	32,312	0,0023479
hiv/été	1	0,17900	0,17900	0,178998	132,268	0,0000871
Error	5	0,00677	0,00677	0,001353		
Total	10	1,13705				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

No unusual observations

Exclue projet 7

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,30529 + 0,08773 log m. lin. + 0,671992 res/com - 0,512725 bin
FEUX DE CIRCULATION + 0,197886 bin Bassin + 0,360662 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,30529	0,0699786	75,8130	0,000

log m. lin.	0,08773	0,0255375	3,4353	0,019
res/com	0,67199	0,0301996	22,2517	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,51273	0,0328305	-15,6174	0,000
bin Bassin	0,19789	0,0267159	7,4071	0,001
hiv/été	0,36066	0,0267355	13,4900	0,000

Summary of Model

S = 0,0301696 R-Sq = 99,64% R-Sq(adj) = 99,28%
 PRESS = 0,0235222 R-Sq(pred) = 98,14%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,26072	1,26072	0,252144	277,019	0,0000042
log m. lin.	1	0,49449	0,01074	0,010742	11,802	0,0185282
res/com	1	0,40531	0,45068	0,450678	495,138	0,0000034
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,07017	0,22200	0,222001	243,902	0,0000196
bin Bassin	1	0,12511	0,04994	0,049938	54,864	0,0007060
hiv/été	1	0,16564	0,16564	0,165640	181,980	0,0000401
Error	5	0,00455	0,00455	0,000910		
Total	10	1,26527				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

No unusual observations

Exclue projet 8

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,31236 + 0,091882 log m. lin. + 0,642793 res/com - 0,49453 bin
 FEUX DE CIRCULATION + 0,19807 bin Bassin + 0,362781 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,31236	0,0711383	74,6765	0,000
log m. lin.	0,09188	0,0257064	3,5743	0,016
res/com	0,64279	0,0348333	18,4534	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,49453	0,0364227	-13,5775	0,000
bin Bassin	0,19807	0,0270331	7,3270	0,001
hiv/été	0,36278	0,0268159	13,5286	0,000

Summary of Model

S = 0,0305082 R-Sq = 99,44% R-Sq(adj) = 98,89%

PRESS = 0,0217256 R-Sq(pred) = 97,40%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0,831625	0,831625	0,166325	178,700	0,0000125
log m. lin.	1	0,246092	0,011891	0,011891	12,775	0,0159711
res/com	1	0,249146	0,316945	0,316945	340,527	0,0000086
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,040155	0,171583	0,171583	184,349	0,0000388
bin Bassin	1	0,125883	0,049967	0,049967	53,684	0,0007425
hiv/été	1	0,170349	0,170349	0,170349	183,023	0,0000395
Error	5	0,004654	0,004654	0,000931		
Total	10	0,836279				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

No unusual observations

Exclue projet 9

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,31032 + 0,084109 log m. lin. + 0,681094 res/com - 0,527048
 bin FEUX DE CIRCULATION + 0,191526 bin Bassin + 0,379996
 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,31032	0,0960394	55,2932	0,000
log m. lin.	0,08411	0,0451914	1,8612	0,122
res/com	0,68109	0,0665244	10,2383	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,52705	0,0567439	-9,2882	0,000
bin Bassin	0,19153	0,0341172	5,6138	0,002
hiv/été	0,38000	0,0583824	6,5087	0,001

Summary of Model

S = 0,0367116 R-Sq = 99,41% R-Sq(adj) = 98,82%
 PRESS = 0,0372282 R-Sq(pred) = 96,74%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,13483	1,13483	0,226966	168,405	0,000014
log m. lin.	1	0,69201	0,00467	0,004669	3,464	0,121787
res/com	1	0,21814	0,14127	0,141273	104,822	0,000153

bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,05760	0,11627	0,116270	86,270	0,000243
bin Bassin	1	0,10999	0,04247	0,042473	31,514	0,002481
hiv/été	1	0,05710	0,05710	0,057095	42,364	0,001279
Error	5	0,00674	0,00674	0,001348		
Total	10	1,14157				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

No unusual observations

Exclue projet 10

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,32209 + 0,0859009 log m. lin. + 0,668852 res/com - 0,528657
bin FEUX DE CIRCULATION + 0,174162 bin Bassin + 0,363917
hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,32209	0,0873298	60,9424	0,000
log m. lin.	0,08590	0,0307478	2,7937	0,038
res/com	0,66885	0,0351508	19,0281	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,52866	0,0411051	-12,8611	0,000
bin Bassin	0,17416	0,0419582	4,1509	0,009
hiv/été	0,36392	0,0314121	11,5853	0,000

Summary of Model

S = 0,0352071 R-Sq = 99,46% R-Sq(adj) = 98,91%
PRESS = * R-Sq(pred) = *%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,13548	1,13548	0,227096	183,211	0,0000117
log m. lin.	1	0,46958	0,00967	0,009674	7,805	0,0382763
res/com	1	0,32564	0,44880	0,448797	362,068	0,0000074
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,14694	0,20503	0,205029	165,408	0,0000506
bin Bassin	1	0,02694	0,02136	0,021357	17,230	0,0089027
hiv/été	1	0,16637	0,16637	0,166368	134,218	0,0000841
Error	5	0,00620	0,00620	0,001240		
Total	10	1,14168				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	log total 3	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
3	6,41540	6,41540	0,0352071	0	*	X

X denotes an observation whose X value gives it large leverage.

Exclude projet 11

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,3508 + 0,07421 log m. lin. + 0,675005 res/com - 0,543847 bin
FEUX DE CIRCULATION + 0,190123 bin Bassin + 0,387016 hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,35080	0,0785806	68,0932	0,000
log m. lin.	0,07421	0,0282882	2,6234	0,047
res/com	0,67501	0,0308896	21,8522	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,54385	0,0374165	-14,5350	0,000
bin Bassin	0,19012	0,0271332	7,0070	0,001
hiv/été	0,38702	0,0292272	13,2416	0,000

Summary of Model

S = 0,0306369 R-Sq = 99,63% R-Sq(adj) = 99,26%
PRESS = 0,0240568 R-Sq(pred) = 98,10%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,25970	1,25970	0,251940	268,415	0,0000045
log m. lin.	1	0,48121	0,00646	0,006460	6,882	0,0469078
res/com	1	0,44919	0,44821	0,448209	477,518	0,0000037
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,04563	0,19830	0,198298	211,266	0,0000278
bin Bassin	1	0,11909	0,04608	0,046085	49,099	0,0009125
hiv/été	1	0,16458	0,16458	0,164578	175,341	0,0000439
Error	5	0,00469	0,00469	0,000939		
Total	10	1,26439				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

No unusual observations

Exclue projet 13

General Regression Analysis: log total 3 versus log m. lin.; res/com; ...

Regression Equation

log total 3 = 5,18194 + 0,132354 log m. lin. + 0,653093 res/com - 0,501974
bin FEUX DE CIRCULATION + 0,202614 bin Bassin + 0,371619
hiv/été

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5,18194	0,0925322	56,0015	0,000
log m. lin.	0,13235	0,0328067	4,0344	0,010
res/com	0,65309	0,0297340	21,9645	0,000
bin FEUX DE CIRCULATION	-0,50197	0,0321252	-15,6255	0,000
bin Bassin	0,20261	0,0256225	7,9077	0,001
hiv/été	0,37162	0,0248644	14,9459	0,000

Summary of Model

S = 0,0285624 R-Sq = 99,65% R-Sq(adj) = 99,29%
PRESS = 0,0208184 R-Sq(pred) = 98,20%

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1,15157	1,15157	0,230315	282,314	0,0000040
log m. lin.	1	0,42029	0,01328	0,013278	16,276	0,0099782
res/com	1	0,36090	0,39358	0,393581	482,441	0,0000036
bin FEUX DE CIRCULATION	1	0,06785	0,19919	0,199187	244,158	0,0000195
bin Bassin	1	0,12029	0,05101	0,051014	62,531	0,0005205
hiv/été	1	0,18223	0,18223	0,182235	223,379	0,0000243
Error	5	0,00408	0,00408	0,000816		
Total	10	1,15565				

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

No unusual observations